

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Návrh technologie plošného tváření pro nerezový výlisek

Sheet Metal Forming Technology Design for the
Stainless Steel Blank

Student:	Bc. Jan Chládek
Vedoucí bakalářské práce:	prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Chládek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie plošného tváření pro nerezový výlisek**
Sheet Metal Forming Technology Design for the Stainless Steel Blank
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor technologie plošného tváření
2. Alternativní technologický návrh a analýza zadaného výlisku
3. Konstrukční návrh lisovacího nástroje
4. Zkoušení a technické hodnocení navržených technologií

Seznam doporučené odborné literatury:


BAREŠ aj. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s.
KOTOUČ, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1978, 158 s.
PETRUŽELKA, J., BŘEZINA, R. *Úvod do tváření II*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2001. 115 s.
HRUBÝ, J., PETRUŽELKA, J. *Výpočetní metody ve tváření*. 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2002. 173 s.
MIELNIK, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Ve Výprachticích 15. 5. 2017



Bc. Jan Chládek

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ve Výprachticích 15. 5. 2017


.....

podpis

Bc. Jan Chládek
Výprachtice 392
563 01, Lanškroun

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

CHLÁDEK, J. *Návrh technologie plošného tváření pro nerezový výlisek: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 68 s. Vedoucí práce: Hrubý, J.

V diplomové práci je řešen vývojový projekt pro nerezový výlisek „Víčko“. Cílem je navrhnout vhodný technologický postup výroby výlisku pro sériové lisování v postupovém nástroji. V teoretické části práce jsou popsány použité technologie pro výrobu výlisku, které vzájemně prolínají plošné a objemové tváření. Praktická část je zaměřena především na návrh vhodného postupu lisování včetně sestavení nástřihového plánu. Složité tvary a dílčí operace návrhu jsou analyzovány pomocí softwarových výpočtů a zkoušeny na polotovarech v testovacím nástroji. Závěrem této práce je vhodně navržená konstrukce postupového tvářecího nástroje na základě odzkoušených dílčích kroků.

Klíčová slova: tváření; stříh; tah; nástřihový plán; výlisek; lisování; nástroj

ANNOTATION OF MASTER THESIS

CHLÁDEK, J. *Sheet Metal Forming Technology Design for the Stainless Steel Blank: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2017, 68 p. Thesis head: Hrubý, J.

The master thesis deals with the development project for stainless steel stamping part „Cap“. The aim is to design a suitable technological process for the production of a stamping part for serial pressing in the progressive tool. In the theoretical part of the thesis are described the used technologies for production of the stamping part, which mutually intersect the surface forming and the volume forming. The practical part of the thesis is mainly focused to propose a suitable pressing process, including a compilation of a stamping plan. Complex shapes and partial design operations are analyzed using softwares calculations and are tested on semi-finished products in the testing tool. The conclusion of this thesis is suitably designed construction of the progressive forming tool based on tested partial steps.

Key words: forming; cutting; pulling; stamping plan; stamping part; pressing; stamping tool

Obsah

stránka

1	ÚVOD	7
2	TEORIE POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ.....	9
2.1	STŘIHÁNÍ	9
2.2	TAŽENÍ	12
2.3	PĚCHOVÁNÍ.....	14
3	PROJEKT NEREZOVÉHO VÝLISKU „VÍČKO“.....	16
3.1	POPIS VÝLISKU A POŽADAVKY ZÁKAZNÍKA.....	17
3.2	MATERIÁL VÝLISKU „VÍČKO“	18
3.3	SOFTWARE PRO KONSTRUOVÁNÍ - NX 8,5 SIEMENS PLM.....	20
3.4	URČENÍ PROBLÉMOVÝCH OBLASTÍ VÝLISKU	21
3.4.1	<i>Tažení a tváření krčku.....</i>	<i>21</i>
3.4.2	<i>Tváření límečku (tj. svářecího břitu)</i>	<i>22</i>
3.5	NÁVRH NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU.....	24
3.6	OBLASTI NAVRŽENÉHO NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU	25
3.6.1	<i>Střižná oblast</i>	<i>25</i>
3.6.2	<i>Tažná oblast s prvním tvářením (pěchováním).....</i>	<i>26</i>
3.6.3	<i>Tvářecí oblast (pěchování)</i>	<i>27</i>
3.6.4	<i>Oblast výstřihu výlisku a plnicího otvoru</i>	<i>28</i>
4	VÝPOČTY A ANALÝZY TVÁŘENÍ VÝLISKU	30
4.1	SOFTWARE PRO VÝPOČTY TVÁŘENÍ - QFORM	30
4.2	ANALÝZA – TAŽENÍ A TVÁŘENÍ KRČKU	31
4.3	ANALÝZA – TVÁŘENÍ LÍMEČKU (SVÁŘECÍHO BŘITU)	35
4.3.1	<i>Tváření límečku.....</i>	<i>35</i>
4.3.2	<i>Životnost činných částí při tváření límečku</i>	<i>37</i>
4.4	VÝPOČET LISOVACÍ SÍLY PRO TESTOVANÉ OBLASTI	38

5	ZKOUŠENÍ VÝLISKU NA TESTOVACÍM NÁSTROJI	40
5.1	TESTOVACÍ „MALÝ“ NÁSTROJ PRO ZKOUŠENÍ SLOŽITÝCH VÝLISKŮ	40
5.1.1	<i>Konstrukce malého nástroje</i>	<i>40</i>
5.1.2	<i>Tvar zkušebních přístřihů pro malý nástroj.....</i>	<i>42</i>
5.2	ZKOUŠENÍ – TAŽENÍ A TVÁŘENÍ KRČKU	43
5.2.1	<i>Tažení krčku.....</i>	<i>43</i>
5.2.2	<i>Tváření krčku po tažení.....</i>	<i>44</i>
5.3	ZKOUŠENÍ – TVÁŘENÍ LÍMEČKU (SVÁŘECÍHO BŘITU)	46
6	SÉRIOVÝ KOMBINOVANÝ NÁSTROJ A JEHO ZKOUŠENÍ	49
6.1	NOVÉ A NEODHALENÉ TECHNICKÉ PROBLÉMY	49
6.2	ÚPRAVY A ZMĚNY ODVOZENÉ Z PŘEDCHOZÍCH ANALÝZ A ZKOUŠENÍ	51
6.2.1	<i>Životnost činných částí při tváření límečku</i>	<i>52</i>
6.2.2	<i>Lisované tvářecí pouzdra z tvrdokovu</i>	<i>54</i>
6.3	LISY POUŽITÉ PRO ZKOUŠENÍ A SÉRIOVÉ LISOVÁNÍ	55
6.3.1	<i>Výstředníkový lis LEK 160.....</i>	<i>55</i>
6.3.2	<i>Lisovací automat ebu STA 160/1600 P2.....</i>	<i>56</i>
6.4	KONSTRUKCE KOMBINOVANÉHO NÁSTROJE.....	57
6.4.1	<i>Rám nástroje - stojánek</i>	<i>58</i>
6.4.2	<i>Jednotky pro činné části</i>	<i>59</i>
7	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

Na tomto místě bych velice rád poděkoval panu prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc., za jeho odborné vedení a velmi cenné připomínky při vypracování diplomové práce. Taktéž za přínosné přednášky a konzultace během celého mého studia na VŠB-TUO.

Závěrem bych také rád poděkoval celé své rodině, která mě po celou dobu studia morálně podporovala, jmenovitě především přítelkyni Lence a mamince Jaroslavě.

1 Úvod

Strojní průmysl se v posledních letech rozrůstá o nové a stále modernější technologie ve všech svých odvětvích, oblast tváření nevyjímaje. Tím nám rozhodně neklesá poptávka po starších, ale velmi osvědčených metodách, které se vlivem vývoje nových technologií neustále zdokonalují a posouvají vpřed. Vývoj a výzkum těchto nových technologií společně se softwary sebou přináší právě ono zmíněné vylepšení, které lze následně uplatnit například při tváření oceli nebo lisování.

Vliv nových a modernějších technologií nám přináší další aspekty prakticky do všech odvětví strojínského průmyslu včetně tváření. Dvojicí těch nejzákladnějších a v dnešní době nejsledovanějších aspektů patří především přesnost a ekonomičnost výroby jednotlivých dílů a strojních celků. Většina společností vyžaduje po dodavatelských firmách co nejpřesnější výrobu za nejnižší možné náklady. Nalezením kompromisu mezi potřebnou přesností výrobku a jeho ekonomičností při výrobě je nelehký úkol, který musí mnoho firem zvládnout, aby si udržely místo na trhu.

Klasické plošné a někdy také objemové tváření využívané pro sériové lisování výlisků je stále velice oblíbená technologie, zejména díky velké produkci dílů a relativně dobré ekonomičnosti výroby. Modernizace v tomto odvětví lisování určitě také probíhá, vylepšují se tvářecí a lisovací stroje a jsou doplněny o přesné počítačové řízení. Při návrhu nových lisovacích nástrojů můžeme také efektivně využít výpočtových softwarů, které pomáhají analyzovat proces tváření a lisování. Tím můžeme docílit urychlení návrhu nástroje a podstatného zjednodušení a urychlení při následném doladění nástroje na lise.

Tato diplomová práce pojednává především o výzkumu a vývoji nového nerezového výlisku pro sériové lisování s využitím znalostí z technologie tváření. Zajímavostí řešeného výlisku je především prolnutí dvou podobných, ale lehce odlišných technologií. Základem je plošné tváření ve standardním lisovacím nástroji a následně je nutné výlisek tvářet objemově pomocí pýchování. Prvek pýchování není v lisovacích nástrojích často obvyklý, případně pouze na konkrétní malé oblasti. V tomto řešení bude nutné pýchovat celý výlisek a navíc z koroziivzdorné oceli, což přináší svá určitá specifika.

S tímto projektem jsem se setkal během své několikaleté praxe konstruktéra ve společnosti zabývající se výrobou tvářecích nástrojů a vstřikovacích forem. Tato společnost disponuje také svojí lisovnou kovů a plastů, kde pro zákazníky jejich nástroje lisuje a následně jim prodává již hotové výlisky dle jejich požadavků a výkresů.

Pro získání některých větších projektů a zakázek je nutné disponovat i lehkou montáží, kde se sestavují díly do menších podsestav, jenž jsou součástí velkých sestav a celků. Naše lisovny dodají většinou všechny plastové a případně kovové díly, ostatní komponenty jako normální nebo speciální díly dodávají schválení a ověření dodavatelé. S nimi má převážně smluvní vztah přímo koncový zákazník, aby je mohl prověřovat auditem stejně jako samotnou montáž. Následně naše společnost dodává hotovou a kompletně připravenou podsestavu dílu koncovému zákazníkovi, který ho montuje dále do již zmíněných velkých sestav nebo jiných výrobních celků.

Jelikož tato společnost řešila několik obdobných nástrojů a výlisků, získala i zakázku na tento nový vývojový projekt. Obdobné projekty se většinou řešily pro stejného zákazníka, ale výlisky se vyráběly z běžné konstrukční oceli a následně se opatřily povrchovou úpravou. Nyní má zákazník jiný speciální požadavek na nerezový výlisek, jelikož bude použit pro zvláštní účely. Samotný koncový a zároveň zadavatelský zákazník je součástí mezinárodní korporace, která má výrobní závody i v České republice. Samotná nadnárodní společnost působí hned v několika odvětvích průmyslu a obchodu. Výlisek, který řeším, je součástí divize spojené s elektro průmyslem.

Jak je zřejmé z úvodu této práce, rozhodl jsem se vyhnout jmenování konkrétních společností dodavatele i zákazníka. Především proto, že projekt řešený v této práci podléhá smlouvě o zachování mlčenlivosti mezi těmito dvěma společnostmi. Dodavatelská společnost souhlasí se sepsáním a využitím této práce pro studijní a akademické účely.

2 Teorie použitých technologií

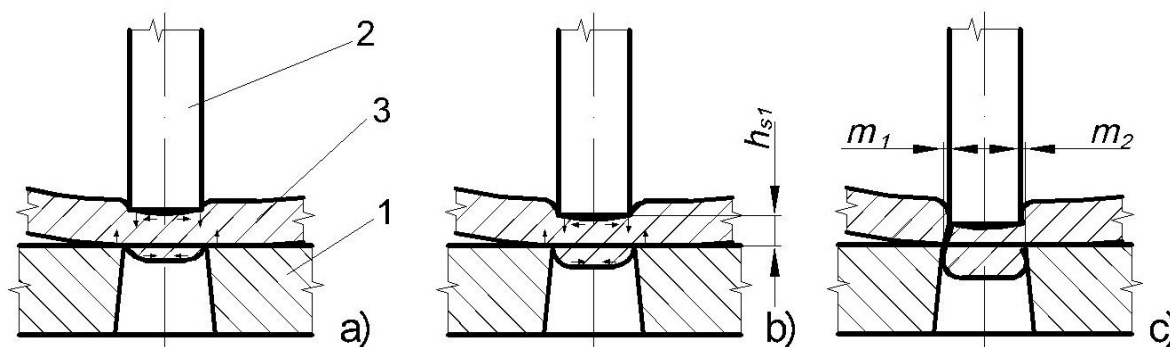
Vyrobitelnost výlisku, o kterém píšu v této práci, je předurčena některými základními metodami nebo také technologiemi tváření. Tyto metody lze rozdělit do dvou základních skupin, první je plošné tváření a druhé je objemové tváření. Zmíněná dvojice metod je v tomto případě použita za studena bez předehřívání vstupního materiálu. Spojení těchto dvou technologií je dosaženo pomocí lisování na postupovém tvářecím nástroji. V této kapitole si v krátkosti a teoreticky představíme jednotlivé technologie z obou zmíněných skupin, jenž budeme potřebovat pro tuto práci.

2.1 Stříhání

Jedná se o základní operaci plošného tváření, která se využívá většinou před všemi ostatními metodami, aby se docílilo požadovaného tvaru ve vstupní pásce. Pro svou rozšířenost a velký rozsah použitelnosti se metoda používá k dělení profilů, svitků, tabulí, k výrobě konečných výlisků nebo se též využívá při přípravě polotovarů pro další operace jako je ohýbání, tažení, apod.

Střížný proces

Střížný proces začíná dosednutím střížného nástroje na stříhaný materiál. Oddělení části materiálu podél křivky stříhu dochází vlivem smykového namáhání, které působí ve střížné rovině. Obrázek č. 1 zobrazuje průběh jednotlivých fází stříhu (1 – střížná matrice, 2 – střížník, 3 – stříhaný materiál). Průběh těchto fází nejvíce ovlivňují dva faktory. Prvním je jakost stříhaného materiálu a druhým faktorem je zvolená střížná vůle. [1]



Obr. 1 Průběh jednotlivých fází stříhu [1]

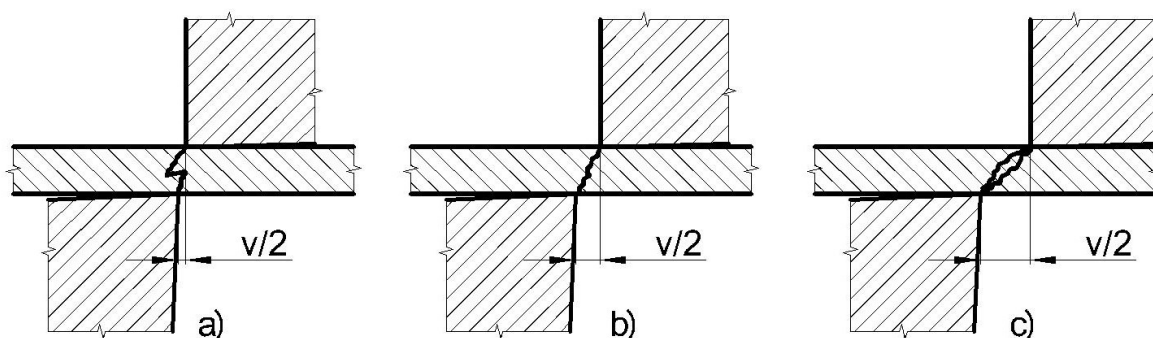
V první fázi stříhu (Obr. 1 a) vzniká pružná deformace stříhaného materiálu vlivem průniku střížníku do něj. Napětí tvářeného kovu je menší než napětí na mezi úměrnosti. Hloubka vniknutí závisí na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a pohybuje se v rozmezí 5 až 8 % jeho tloušťky. [1]

Ve druhé fázi stříhu (Obr. 1 b) je napětí větší než mez kluzu stříhaného materiálu. Vzniká již jeho trvalá deformace. Střížník proniká hlouběji do materiálu. Hloubka vniku (h_{s1}) je opět závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Zpravidla se pohybuje kolem 10 až 25 % jeho tloušťky. Na stříhaném materiálu dochází k zaoblení vlivem vtažení materiálu na straně střížníku a vytlačení materiálu na straně střížnice. [1]

Ve třetí fázi stříhu (Obr. 1 c) je stříhaný materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu. Hloubka vniku je 10 až 60 % jeho tloušťky a závisí jak na jakosti materiálu, tak na zvolené střížné vůli. Nejprve vzniknou u hran střížníku a střížnice mikrotrhliny. Později se objeví makroskopické trhliny, jejichž tvorba je podporována napjatostí ve stříhaných vláknech zpracovávaného materiálu. Trhlinky se rychle prodlužují, až dojde k oddělení materiálu. Na obrázku vlevo je znázorněn průběh v případě normální střížné mezery (m_1) a vpravo je znázorněn průběh malé střížné mezery (m_2). [1]

Střížná vůle

Střížná vůle je rozdílem mezi rozměry střížné matrice a pracovních částí střížníku. Jestliže je rozdíl jednostranným rozměrem, pak se nazývá střížná mezera. Střížná mezera musí být stejná ve všech místech střížné křivky. V opačném případě vznikají po obvodě povrchové vady, střížná plocha je nekvalitní a snižuje se výdrž střížných břitů. Optimální nastavení střížné vůle je proto velmi důležité. Ovlivňuje i střížnou sílu a práci. Jejím zmenšením může dojít k nárůstu střížné práce až o 40 %.



Obr. 2 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle [1]

Obrázek č. 2 na předchozí straně znázorňuje rozdíl mezi třemi střížnými vůlemi (v) při průběhu stříhu. Obrázek (2 a) zobrazuje malou střížnou vůli. Obrázek (2 b) zobrazuje správnou střížnou vůli. Obrázek (2 c) zobrazuje velkou střížnou vůli.

Střížná vůle může být zhotovena na matrici nebo na střížníku. Volba je závislá na funkci výlisku. V případě potřeby vystříhnutí přesného otvoru se volí střížná mezera zvětšením rozměru střížníku na úkor střížnice. Při stříhání samotného výlisku s přesným vnějším obvodem se volí střížná vůle na úkor střížníku.

Velikost střížné vůle záleží na mnoha faktorech, především na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. Optimální střížná vůle je taková, při níž dosáhneme požadované jakosti střížné plochy při nejmenší střížné síle. Stanovuje se v % tloušťky stříhaného materiálu a je závislá na zkušenostech konstruktéra a technologa. Zpravidla se pohybuje v rozmezí 3–20 %, hodnota se dále upravuje přímo ve výrobě. Nástroje s velkou životností se vyrábějí s malou střížnou vůlí, opotřebením nástroje dochází k jejímu zvětšování. [1] [2]

Střížná síla a práce

Pro správný návrh technologického procesu stříhání je nutná znalost stříhacích sil vzniklých působením střížných dvojic. Důležité je zejména nikdy nepřekročit jmenovitou sílu lisu. Mohlo by dojít k jeho poškození. Velikost střížné síly je dána v každém okamžiku součinem střížného odporu a střížné síly. Při reálných střížných podmínkách dochází ke kombinovanému namáhání, proto se síla uvažuje o 20–50 % větší. Níže uvádím standardní vzorec pro určení a výpočet jmenovité střížné síly. [3]

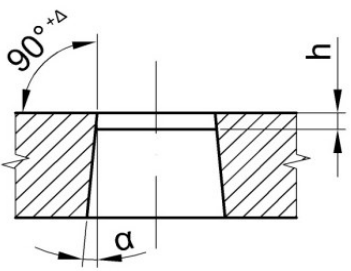
$$F_S = (1,1 - 1,3) \cdot O \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \text{ [N]}$$

Silové stavy výrazně ovlivňuje velikost střížné mezery. V případě navrhnutí špatné střížné mezery může dojít k velkému nárůstu střížné práce. Dále také závisí na ploše pod křivkou stříhu a na zdvihu.

Základní tvary střížných matic

Tabulka č. 1 na následující straně obsahuje nejzákladnější používané tvary střížných matic. U každého typu je popsán rozsah a vhodnost použití. Tyto tvary jsou osvědčené a odzkoušené mnoholetou praxí a jsou s oblibou využívány v mnoha společnostech.

Tab. 1 Tvar použité střížnice a rozsah jejího použití [4]

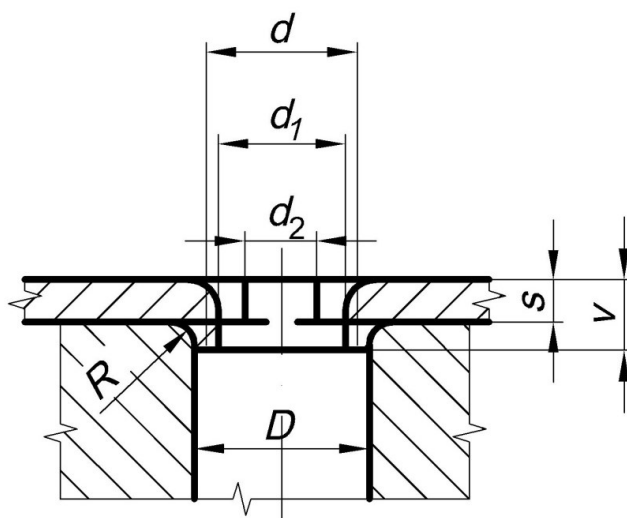
	Tvar střížnice	Použití
Kuželová s válcovou fasetkou		<ul style="list-style-type: none"> díly s komplikovaným obvodem a vysokými požadavky na přesnost <p><u>fasetka:</u></p> <p>$h = 3 - 5 \text{ mm}; s = 0,5 \text{ mm}$ $h = 5 - 10 \text{ mm}; s = 0,5 - 5 \text{ mm}$ $h = 10 - 15 \text{ mm}; s = 5 - 10 \text{ mm}$ $\alpha = 3 - 5^\circ$</p>

2.2 Tažení

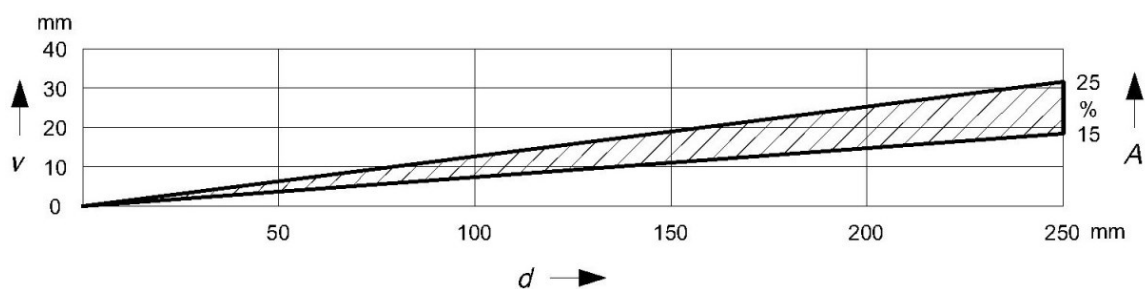
Tažení je specifické odvětví plošného tváření, kterému bychom se mohli věnovat v celé jedné samostatné práci. Samotná metoda má v praxi mnoho použití a přináší velmi dobré výsledky, ale nehodí se na všechny materiály a postupy, jak se přesvědčíme v této práci. Nicméně při návrhu mnou řešeného výlisku nemělo být tažení klíčovou technologií a mělo mít pouze okrajový význam, proto se mu v teorii nebudu věnovat tak podrobně. Následné analýzy a testy v praktické části této práce nám prozradí zrádnost této metody při nevhodné kombinaci vstupního materiálu a konstrukčních rozměrů tažných operací v nástroji.

Tažení je v odborné literatuře definováno jako přeměna plochého materiálu na tvarové a hlavně prostorové těleso. Jedná se o tvárnou deformaci, při které se přesunuje značná část kovu. Nejčastěji se tato metoda používá k vytvoření dutých těles. V průběhu procesu tažení se neustále mění druhy napjatosti a deformace. K největší napjatosti a deformaci dochází v přírubě výtažku. Při samotném procesu tažení by nemělo docházet k podstatné změně v tloušťce stěny materiálu vůči původní tloušťce plechu. Z hlediska náročnosti se jedná o jednu z nejnáročnějších metod plošného tváření. [5]

Technologie tažení v plošném tváření lze rozdělit do několika základních skupin, mezi které patří prosté tažení, zpětné tažení, žlábkování, protahování a rozšiřování nebo zužování. Zadaný nástroj využívá z technologie tažení pouze skupinu protahování. Proto se zde omezují pouze na tuto metodu. Na obrázku č. 3 je zobrazeno protažení krčku potřebné k návrhu protahovacího trnu. Níže na obrázku č. 4 je diagram dosažené výšky krčku při tažení. [5]



Obr. 3 Protahování válcového tvaru [5]



Obr. 4 Diagram určující dosaženou výšku při protahování [5]

Protahovací stroje

Protahovací stroje lze v zásadě rozdělit dle jejich konstrukce na horizontální a vertikální. Vertikální stroje mají výhodu oproti horizontálním v přesnosti obrábění, protože protahovaný tvar není negativně ovlivněn působením tíhy vlastního trnu. Protahovací stroje je možné dále rozdělit podle použití na protahovací stroje vnitřních a vnějších profilů. [6]

Protahovací nástroje

Základní dělení protahovacích nástrojů je na protahování vnitřních profilů, vnějších profilů a na speciální protahovací nástroje. Protahovací nástroje vnitřních profilů se používají pro všechny vnitřní profily, které lze protahovat, jako jsou například kruhové otvory, polygony, mnohoúhelníky, vroubkování a evolventní ozubení, vnitřní ozubení, profily s vnitřní spirálou apod. s maximálními rozměry až do 500 mm a délkou 3 000 mm.

Protahovací nástroje vnějších profilů lze použít pro všechny vnější profily, které je možné protahovat, jako například ojnice, víka, ozubení na ozubených tyčích řízení a maticích, řadicích tyčích, šalcích ložisek ve skříních motorů, homokinetické klouby aj. [6]

Ke speciálním protahovacím nástrojům patří tubusové protahovací vložky a protahovací tubusy k protahování vnějších profilů, trny na protahování stromečkových a rybinových profilů turbín, tvrdokovové nástroje na protahování kalených dílů, nástroje pro protahování za sucha a řada dalších. [6]

2.3 Pěchování

Technologie pěchování se řadí mezi metody objemového tváření. Pěchování je nejjednodušší tvářecí proces, avšak silově a energeticky nejnáročnější kovářská operace. Při pěchování dochází k plastické deformaci materiálu mezi dvěma plochými nebo tvarovými čelistmi. Zjednodušeně řečeno dochází ke zmenšování výšky a zvětšování plochy průřezu materiálu. Deformace se provádí klidnou silou nebo rázem. Proces může být přímou kovářskou operací při kování plochých výkovků nebo předběžnou operací pro dokonalé prokování, snížení anizotropie a výhodnější průběh vláken materiálu.

Vhodné materiály

K nejvhodnějším materiálům k pěchování patří materiály s nízkou mezí kluzu, s vysokou tažností (větší než 10 %) a kontrakcí (větší než 50 %) a plochým průběhem přetvárného odporu např. nízkouhlíkové ocele (obsah C do 0,2 %). Dále se protlačují neželezné kovy např. olovo, cín, měď, hliník a jejich slitiny. Vhodnost materiálu určují dvě základní vlastnosti, a to přetvárný odpor a tvařitelnost. [7]

Přetvárný odpor

Přetvárný odpor je napětí potřebné k dosažení trvalých deformací tvářeného materiálu. Při jeho dosažení se materiál začne chovat jako „tekutý“. [7]

Tvařitelnost

Tvařitelnost je schopnost materiálu trvale se deformovat pod účinkem vnějších sil a je dána jeho chemickým složením a stavem struktury. Lze ji ovlivnit deformačními podmínkami – teplotou materiálu, rychlostí deformace a stavem napjatosti. Tvařitelnost kovů není stejná pro všechny stavy napjatosti, ale vzrůstá s počtem tlakových napětí. Největší deformační schopnost vykazuje materiál podrobený trojosému tlaku. Maximální dosažitelná deformace při volném pēchování je limitována únosností profilu namáhaného na vzpěr a vznikem obvodových tažných napětí na „rovniku“ pēchovaného soudku. Při tváření za studena má rozhodující vliv velikost napětí, tvar deformační zóny a dále způsob, jakým bylo dosaženo finální deformace (deformační historie). Jedná se potom o tzv. napět'ovou tvařitelnost. [8]

Využití pēchování v praxi

V praxi se technologie pēchování využívá jako základní tvářecí operace volného kování při výrobě kruhů nebo pouzder a jako mezioperační pēchování pro zvýšení prokování nebo zmenšení anizotropie mechanických hodnot. Při výpočtu se využívá přibližných rovnic rovnováhy a podmínky plasticity. Vnější síly od kovadel dáváme do rovnováhy se silami vnitřními. Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení napětí a deformace je nutno těleso charakterizovat pomocí vytknutého prostorového elementu o nekonečně malé tloušťce. [8]

Nejčastěji se k pēchování používají pēchovací automaty, které se dělí na jednorázové s nedělenou nebo dělenou lisovnicí, dvourázové s nedělenou nebo dělenou lisovnicí a s kyvnou nebo posuvnou nástrojovou hlavou. [8]

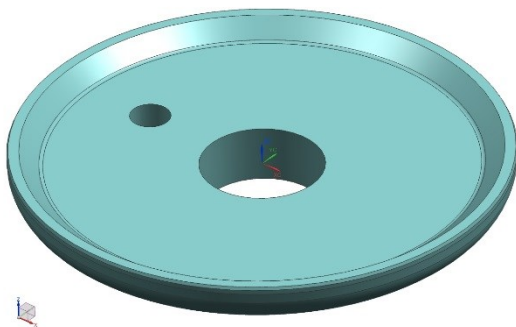
V této diplomové práci bude pēchování představeno trochu v trochu jiné podobě, než v jaké je nám dobře známo při klasickém využití. Projekt, který řeší tato diplomová práce, využívá pēchování, trochu jiným způsobem, společně s plošným tvářením. Obě technologie prolíná a vkládá do kombinovaného postupového nástroje pro sériové lisování.

3 Projekt nerezového výlisku „Víčko“

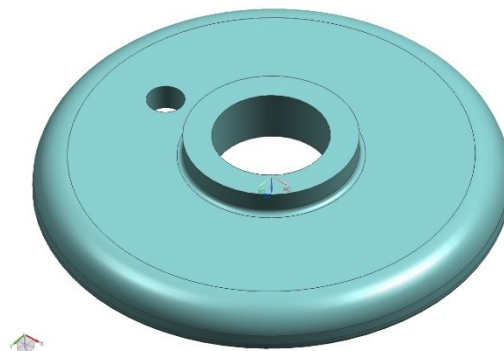
Zadání nového vývojového projektu nerezového výlisku „Víčko“ pro dodavatelskou společnost předcházely bohaté zkušenosti s obdobnou výrobou a výlisky, především pro zadavatelskou společnost a příležitostně i pro jiné zákazníky. V dodavatelské společnosti se za posledních 8 let zhotovilo mnoho podobných výlisků, ale ve většině případů se jednalo o jednodušší tvary, které se lisovaly z nerezavějící oceli (1.4301). V případě tvarově náročných výlisků se používala, jako vstupní materiál k lisování, běžná konstrukční ocel. Velmi oblíbeným materiálem je ocel DC 04 (1.0338).

Já jsem ve společnosti zaměstnán 6 let na pozici konstruktér nástrojů na tváření plechu, příležitostně se zabývám i konstrukcí vstřikovacích forem, přípravků a okrajově jednoúčelových zařízení. Tímto novým a vývojovým úkolem jsem byl pověřen především proto, že obdobné projekty ve firmě řeším již od svého nástupu. Na první pohled se výlisek nezdá náročný, ale některé problémy jsem začal tušit již od prvních jednání. V naší firmě se každopádně jednalo o nejnáročnější výlisek z obdobných projektů, který navíc požadoval zákazník zhotovit z nerezového materiálu.

Největším problémem u tohoto výlisku je jeho velká sériovost, která z ekonomického hlediska nedovoluje jinou metodu výroby než lisování na postupovém kombinovaném nástroji. Ovšem samotný výlisek není pro metodu plošného tváření moc vhodný, především pro nutnost tváření větší části výlisku objemově pomocí pěchování. Zhotovení krčku dle požadavků zákazníka také nelze provést klasickou metodou tažení, ale bude nutné následné dotvarování dalším pěchováním. Zmíněné body řadí tento výlisek mezi obtížnější vývojové projekty, které nebude jednoduché odladit a dokončit. Níže jsou přiloženy obrázky výlisku „Víčko“ v původní podobě (Obr. 5 a 6) pro první seznámení s tvarem.



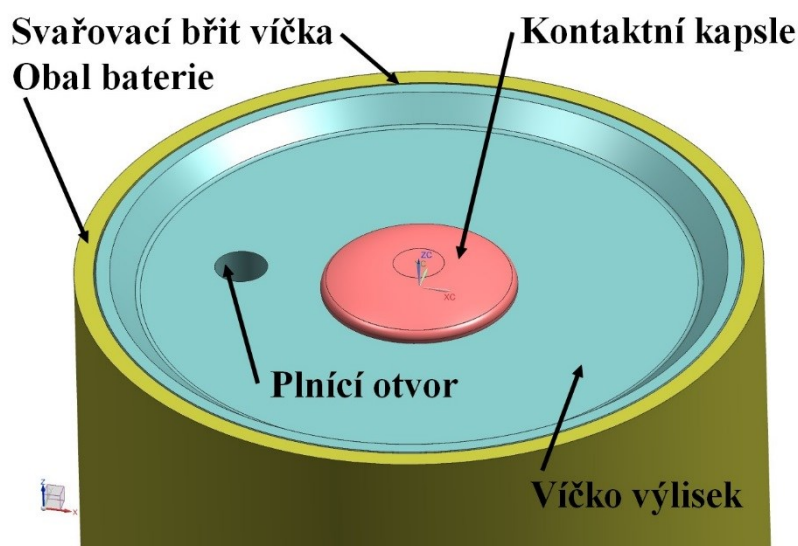
Obr. 5 Model výlisku „Vidko“ horní strana



Obr. 6 Model výlisku „Vidko“ spodní strana

3.1 Popis výlisku a požadavky zákazníka

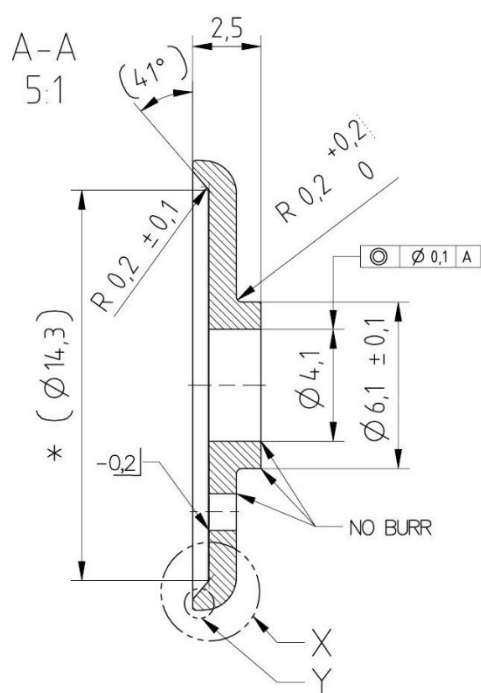
Výlisek řešený v tomto projektu jsem si pracovně nazval „Víčko“, jak jsem již zmínil v předchozí kapitole. Prakticky se totiž jedná o víčko ke speciálnímu druhu baterií, které budou použity v náročných a specifických podmínkách pro zvláštní účely. Proto zákazník požaduje vyrobit výlisek z korozivzdorné oceli, aby dokázal odolávat těmto náročným podmínkám. Na obrázku č. 7 níže je zobrazen výlisek „Víčko“ v základní modelové vytvořené sestavě s obalem baterie. Sesazené díly se společně svařují přes svařovací břit. Předtím se ještě do víčka umísťuje středová kontaktní a vodivá kapsle, která se pájí. Malým otvorem ve výlisku lze baterii naplnit.



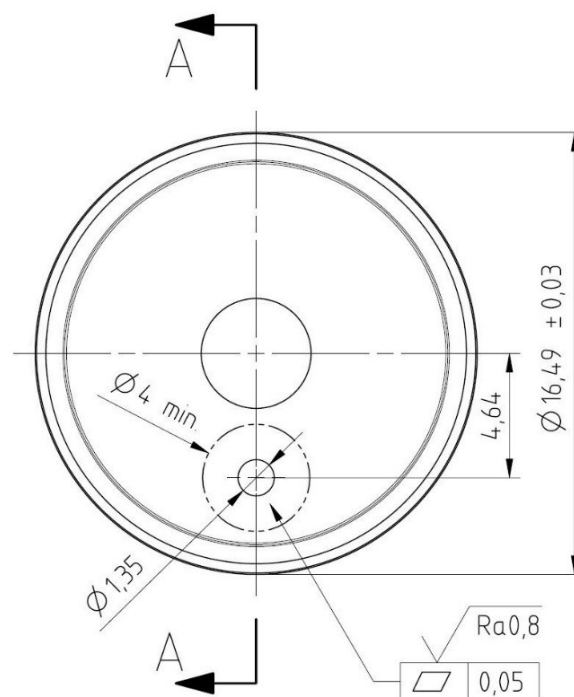
Obr. 7 Výlisek „Víčko“ v sestavě s obalem baterie

Požadavky na výlisek vycházejí především z výkresu dílu a následně také z interních směrnic zákazníka. Tyto normy zde nebudu uvádět, ale jedná se především o přesně specifikované kvality střižných ploch. Jedním z důležitých zpřísnění je kvalita střižné plochy u otvoru průměr 4,1 mm, kde je požadována menší část odtrženého materiálu. Toho lze docílit pouze střížením otvoru ve dvou pozicích dvěma střižníky. Na další důležitá pravidla upozorním v následujících kapitolách této práce dle aktuální potřeby.

Níže přikládám výstřižek z výkresu výlisku „Víčko“ (obr. 8 a 9) pro přesnější seznámení s některými rozměry a tolerancemi. Kompletní výkres výlisku v původní podobě se všemi kótami a tolerancemi je k dispozici jako příloha č. 1 na konci tohoto dokumentu.



Obr. 9 Výstřižek výkresu - řez



Obr. 8 Výstřižek výkresu - pohled

3.2 Materiál výlisku „Víčko“

Výlisek „Víčko“ zákazník požaduje vyrobit, jak již bylo řečeno, z nerezového materiálu, konkrétně se jedná o austenitickou korozivzdornou ocel 1.4301 (X5CrNi18-10) dle EN (evropské normy), podle českého značení ČSN se jedná o materiál 17 240.

Jedná se tedy o nerezový materiál, který velmi dobře odolává korozi vlivem vody, slabých kyselin a alkálií. Dále velmi dobře odolává atmosférické korozi v nepříliš znečištěném prostředí průmyslovém a velkoměstském. Vykazuje velice dobré výsledky v odolnosti proti potravinářským produktům (ovocné šťávy, mléko, pivo, a další). [9]

Ocel je vhodná k tažení a svařování, proto je velice oblíbená v potravinářském a strojním průmyslu. Při svařování je náchylná na mezi krystalickou korozi. Materiál je nemagnetický, nekalitelný a má sklon ke zpevňování za studena při tváření nebo při nevhodném obrábění. Zpevnění vznikne při přetvoření austenitu na deformační martenzit, tím dojde ke zvýšení pevnosti a snížení tažnosti. Následně ocel začne magnetovat. [9]

Používá se na výrobu běžných produktů pro obecné využití (nádoby na potraviny, gastronomické zařízení, vnější konstrukce, vodárny, zařízení ČOV, dřezy, bazény, apod. V tabulce č. 2 uvádím některé mechanické a chemické parametry materiálu 1.4301. [9]

Tab. 2 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 1.4301 [10]

Mechanické vlastnosti	Mez kl. Rp 0,2	Mez kl. Rp 1,0	Mez pev. Rm	Tažnost A80
	235 Mpa	260 Mpa	540-750 Mpa	45%
	Tažnost	max. T použití	Kor. Odolnost	Svařování
	vynikající	400°C	dobré	dobré
Chemické složení [%]	Cr	Ni	C	Si
	17,0-19,5	8,0-10,5	≤ 0,07	≤ 1,00
	Mn	N	P	S
	≤ 2,00	≤ 0,11	max. 0,045	max. 0,015

Zmíním zde ještě v krátkosti druhý materiál, který se s oblibou používá na obdobné, ale ocelové výlisky. Jedná se o klasickou konstrukční ocel s oblibou označovanou jako DC 04 (1.0338) dle EN, podle českého značení ČSN se jedná o materiál 11 305.

Tento materiál je o něco lépe tvárný než výše zmíněná nerez, zejména díky nižší pevnosti (Rm). Nicméně, jak jsem již uvedl, zákazník požaduje primárně korozivzdornou ocel 1.4301. Níže přikládám tabulku č. 3, kde jsou mechanické a chemické parametry oceli DC 04 pouze k porovnání. Obrázek č. 10 a 11 zobrazuje svitky materiálu pro lisování.

Tab. 3 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli DC 04 [11]

Mechanické vlastnosti	Mez kluzu Re	Mez pev. Rm	Tažnost A80	Tvrdost HV
	210 Mpa	270-350 Mpa	38%	95
Chemické složení [%]	C	Mn	P	S
	max. 0,08	max. 0,4	max. 0,03	max. 0,03



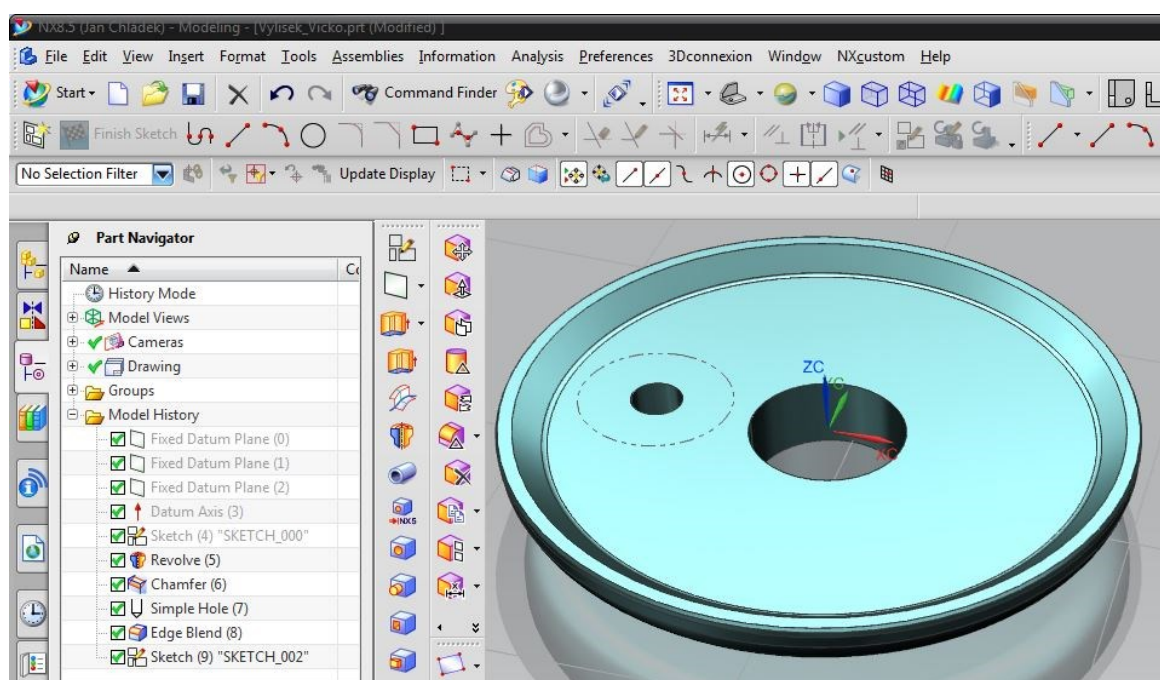
Obr. 10 Svitky plechu pro lisování - uskladnění [12]



Obr. 11 Svitky plechu pro lisování - detail

3.3 Software pro konstruování - NX 8,5 Siemens PLM

Program NX 8,5 Siemens PLM patří do skupiny kreslicích CAD programů, které mimo integraci CAD/CAM/CAE poskytuje též nástroje pro spolupráci, správu dat, automatizaci procesů a podporu v rozhodování. Využívá se v širokém spektru od navrhování přes simulaci až po samotnou výrobu. Jde o vysoce integrované řešení s jednotným prostředím pro návrh, simulaci a obrábění produktů. Při vývoji výrobků umožňuje řešit extrémně náročné problémy díky nástrojům, které disponují výkonem a schopnostmi pro efektivní práci se složitou geometrií či velkými sestavami. Jednou z výhod je možnost opětovného využívání informací z jiných CAD systémů v jakékoliv fázi vývoje výrobku a tím dosáhnout podstatného snížení časové náročnosti. Dalším plusem je otevřená architektura, která umožňuje chránit stávající investice do informačních technologií díky snadnému zapojení řešení od jiných dodavatelů do procesů digitálního vývoje výrobků. [13] [14]



Obr. 12 Ukázka softwaru NX – výstřížek uživatelského prostředí

Program umožňuje díky revoluční synchronní technologii v jednom prostředí funkce parametrického modelování s přístupem volného modelování bez vazby na historii vzniku modelu. To znamená, že konstruktéři mohou efektivně využívat změny geometrie návrhů vytvořených původně v jiných CAD systémech odlišnými modelovacími technikami. Program obsahuje procesně specifické nástroje a pracovní postupy pro tvorbu distribučních systémů, plechových dílů, konstrukci v prostředí automobilového průmyslu a další. [13] [14]

Konstrukčním týmům umožňuje společně prohlížet, modifikovat a vyhodnocovat kompletní virtuální modely výrobků s kontrolou vůlí a kolizí za účelem odstranění případných problémů. Plánování drah a obálek pohybu dílů v sestavě zase poskytuje prostor k optimalizaci konstrukcí s ohledem na montáž, demontáž, údržbu a servis. [13] [14]

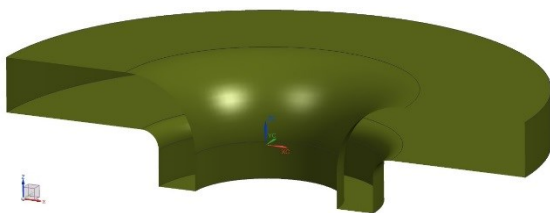
Program nabízí kompletní možnosti tvorby 3D modelů, sestav a nástrojů pro tvorbu výkresové dokumentace. Všechny moduly jsou navzájem provázány tak, že je umožněn volný pohyb mezi tvorbou modelu, výkresu nebo sestavy. [13] [14]

3.4 Určení problémových oblastí výlisku

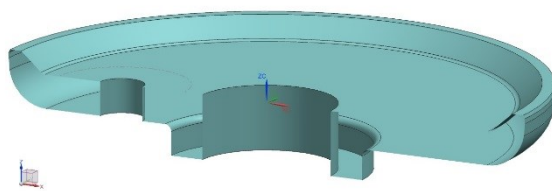
Při zahájení návrhu postupu lisování a jednotlivých lisovacích technologií začnou vycházet na světlo určitá problematická a náchylná místa celého procesu. V těchto oblastech můžou v budoucnu vzniknout problémy s tvářením nebo během samotného lisování. Problémová místa vychází z požadovaného tvaru výlisku a z navržených technologií lisování a většinou nad nimi začneme přemýšlet v průběhu návrhu nástřihového plánu. V této kapitole se seznámíme s těmito problematickými místy podrobněji a popíšeme si, jak nám mohou zkomplikovat tvářením výlisku v budoucím nástroji. Následně bude dobré některé tyto problematické místa odzkoušet před dokončením finálního nástřihového plánu a před samotnou výrobou nástroje.

3.4.1 Tažení a tvářením krčku

Tažení krčku je zařazeno mezi problematické oblasti výlisku zejména díky svému netypickému tvaru v horní oblasti. U většiny předchozích výlisků zákazník povoloval vnější zaoblení krčku, které vzniká samovolně při každém protahování. U tohoto výlisku požadoval ostrou hranu, což nejsme schopni docílit klasickým tahem materiálu. Rozdíl je patrný na obrázku č. 13 a 14 níže.



Obr. 14 Ukázka běžného krčku taženého



Obr. 13 Ukázka požadovaného krčku tvářeného

Abych docílil požadované ostré hrany, musel jsem přistoupit k návrhu, že krček zhotovím pomocí tahu (resp. válcového protahování – protažení). Následně se pokusím tvářením (resp. pěchováním) zmáčknout již vytažený krček a natlačit materiál do oblasti vzniklého horního zaoblení. Tímto bych si mohl zhotovit venkovní tvar krčku na hotovo, ale nevím, jak se zachová otvor průměr 4,1 mm. Ten jsem původně chtěl zhotovit tažníkem na finální rozměr. Kvalita otvoru bude v tomto případě nejlepší, jelikož se vyhnu odtržené části materiálu po stříhu. Existuje ovšem možnost, že tento postup nevyjde a bude nutné otvor na správný rozměr vystříhnout.

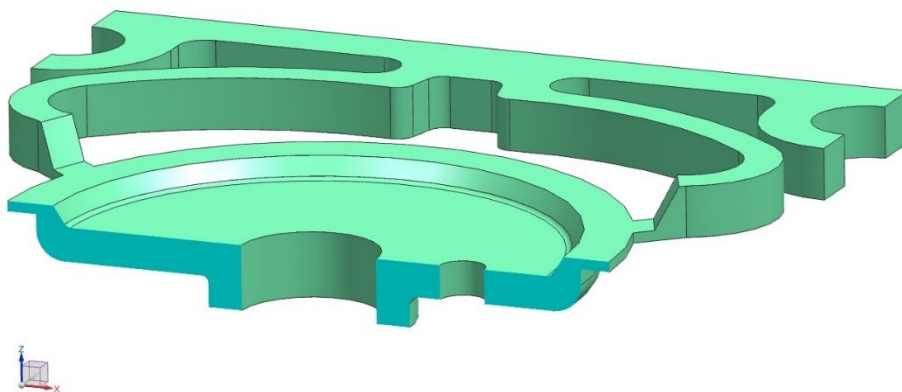
Spodní tvar krčku má vycházet na vnější průměr 6,1 mm a čelo krčku musí být rovné. Od něj se bude měřit výška výlisku. Jak jsem již zmínil, tento tvar půjde zajistit tvářením, což je běžný postup i při kalibraci standardně vytaženého krčku.

Pro tuto komplikovanou oblast mi dobře poslouží testovací nástroj, na kterém si tah s následným pěchováním a kalibrací krčku odzkouším. Bude nutné zhotovit tažníky a tvárníky s několika rozměry, abych mohl uskutečnit více pokusů.

3.4.2 Tvářením límečku (tj. svářecího břitu)

Problém tvářením límečku nemusí být na první pohled patrný, ale o to náročnější bude jeho vyřešení, což se nám v následujícím testování jistě potvrdí. Samotný výlisek totiž není pro metodu plošného tvářením moc vhodný, především pro nutnost tvářením větší části výlisku objemově (pěchováním). První pěchování bylo nutné pro tažení krčku a pro vymáčknutí límečku jsou nutné ještě větší objemové změny. Finální procento pěchování materiálu dosahuje až k 80% tloušťky materiálu v dané oblasti. Vstupní materiál nerez 1.4301 je sice velmi dobře tvárný a tažný, ale je znám svým sklonem ke zpevňování při tvářením za studena.

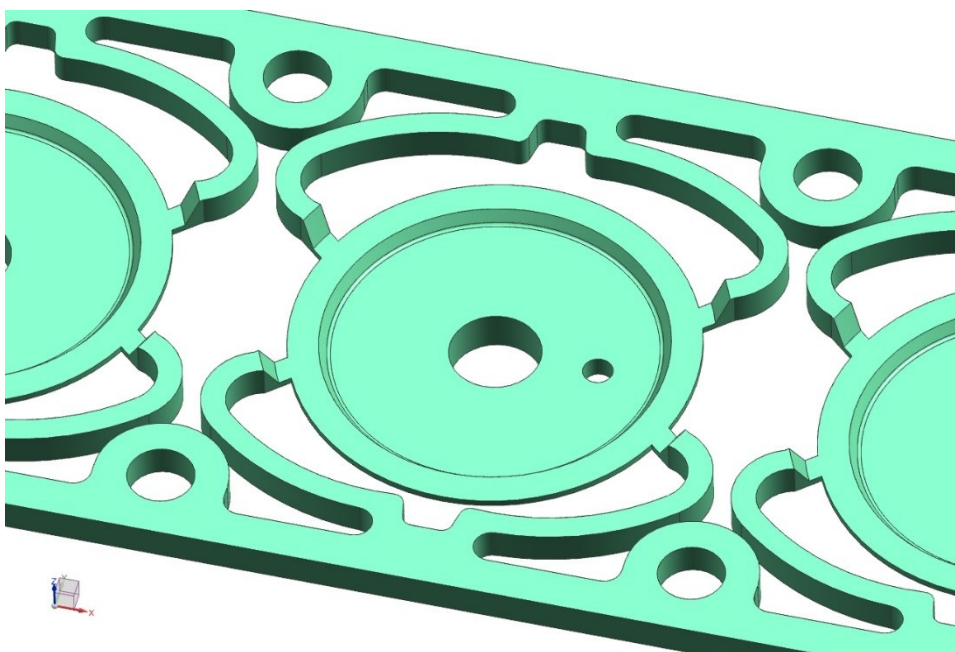
Na obrázku č. 15 níže je patrné zeslabení stěny v místě budoucího odstřížení materiálu. Zmáčknutí do finální podoby je určeno hodnotou $0,25 +0,1/-0,05$ mm na výkrese výlisku. Současně při tomto zmáčknutí je nutné zhotovit spodní vnější zaoblení R 1,2 mm a svařovací plochu 0,4 mm na horní hraně výlisku, od které se také měří výška výlisku.



Obr. 15 Tváření límečku řez v nástřihového plánu

V předchozím prvním tváření, které dolaďuje vytažený krček s ostrou hranou se částečně před-máčkne horní tvar pro límeček. Tato příprava má význam, abychom v dalším tváření neměli tak velké objemové změny. Navíc zaoblení u vytaženého otvoru nelze vymáknout do původní roviny, jelikož na to nemá krček dostatečný objem.

Problém určitě také vznikne v nestejněm šírce límečku (svařovacího břitu), který je na výkrese kótován rozměrem $0,4 + 0,05$ mm, jelikož kulatý výlisek uprostřed obstřižené pásky má ponechané spojovací deformační můstky, které ho přidrží. Většinou dochází v místech těchto můstků k jiným deformacím a jinému tečení materiálu než je na obvodě výlisku, který je ve volném prostoru. Na obrázku č. 16 je zobrazen budoucí výlisek v oblasti tváření límečku a v nástřihovém plánu.



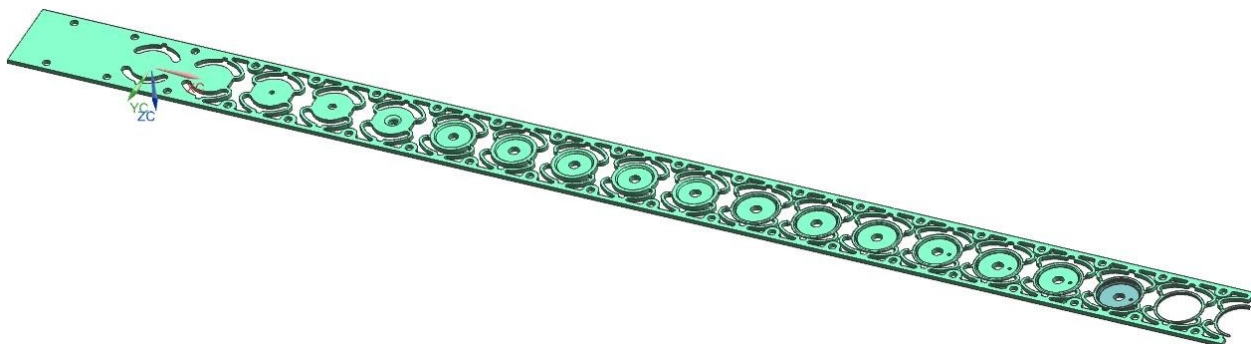
Obr. 16 Tváření límečku umístěno v nástřihového plánu

3.5 Návrh nástřihového plánu

Návrh nástřihového plánu (tj. prakticky postup lisování) je první a velmi důležitý prvek v celém návrhu konstrukce budoucího nástroje. Při samotném návrhu je velice potřebná zkušenost konstruktéra, který tento nástřihový plán připravuje. Samozřejmě jsou nejcennější zkušenosti s obdobnými projekty, jelikož díky nim lze efektivně předvídat možné komplikace a problémy. Ovšem znalosti načerpané u jiných, odlišných projektů jsou také velice vítány, protože mohou navíc přinést jiný pohled a jiná řešení návrhu.

Smysl nástřihového plánu je ve své podstatě v tom, navrhnout, jakými technologiemi a v jakém pořadí budeme požadovaný výlisek tvářet ze vstupní pásky plechu. Celý projekt připravujeme pro kombinovaný postupový nástroj, proto je velice důležité určit počet kroků v navrhovaném nástroji. Krok v nástroji je hodnota, o kterou nám podávací zařízení lisu posune vstupní pásku před každým zdvihem lisu. Dále je velice důležité určit rozměry vstupní pásky, která má také vliv na ekonomické výsledky lisování.

Pokud již víme, kolik kroků je potřeba v nástroji a jaký je rozměr vstupní pásky, tak dokážeme navrhnout i velikost samotného nástroje. Z těchto informací většinou také již dokážeme spočítat hrubou výrobní cenu nástroje a zjistit tedy ekonomičnost celého projektu. Níže na obrázku č. 17 je první navržený nástřihový plán ve 3D podobě. Výkres tohoto nástřihového plánu je přiložen jako příloha 2 této práce.



Obr. 17 Nástřihový plán pro výlisek „Víčko“

Tvar nástřihového plánu se většinou povede navrhnout na poprvé pouze u jednoduchých výlisků nebo u tvarově obdobných výlisků. Nástřihový plán pro tento projekt je trochu odlišný v tom, že se jedná o vývojový projekt. Nemůžeme tedy s jistotou říci, jak se bude nerezový materiál chovat a tvářet. Proto je nutné počítat, že prvotně navržený nástřihový plán se bude v budoucnu měnit. Provede se přehození některých pozic, případně jiné změny. Nicméně je důležité mít alespoň základní podobu, jelikož některé prvky už se měnit nebudou. Potřebné změny se určí po prvních analýzách a testování.

3.6 Oblasti navrženého nástřihového plánu

Rozměr vstupní pásky pro navrhnutý nástřihový plán je 30 x 1,5 mm (šířka x tloušťka). Krok budoucího nástroje navrhují 24 mm. Při těchto rozměrech bude dostatek prostoru pro tváření výlisku a vedení vstupního materiálu. Níže si popíšeme navržené základní oblasti, které se postupně zhotovují do vstupní pásky dle připraveného nástřihového plánu. Střížná oblast a výstřih výlisku se už výrazně nezmění, případně se bude pouze korigovat průměr polotovaru před ostatními operacemi. Tažná a tvářecí oblast se ještě určitě bude doladovat a měnit, jelikož zde budou největší komplikace tohoto výlisku.

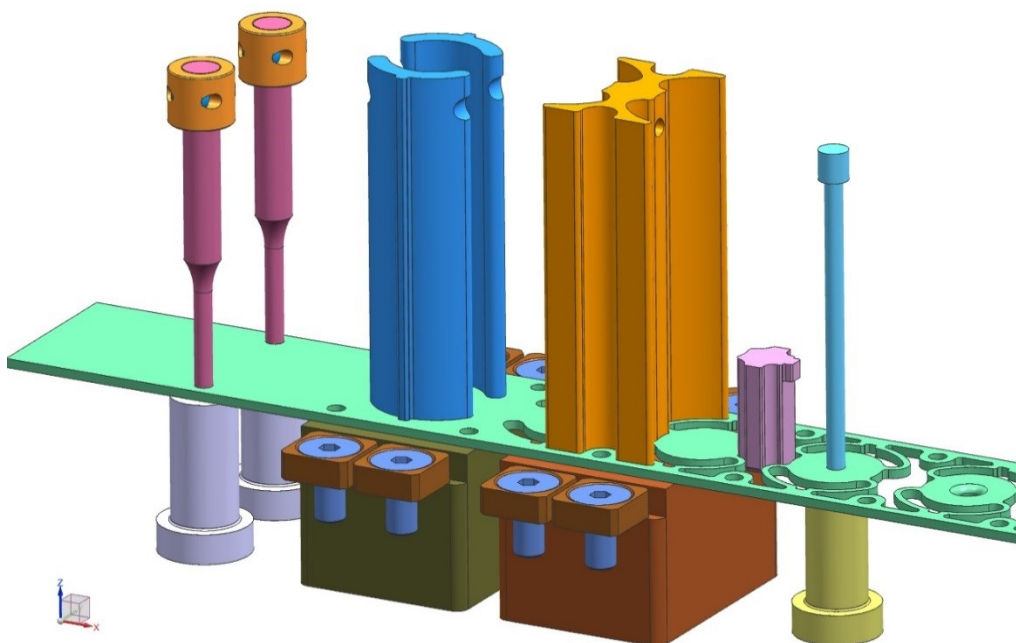
Samotný kulatý výlisek není moc vhodný pro postupový kombinovaný nástroj klasické konstrukce především proto, že nemá žádné vhodné místo pro spojení tvářené oblasti se vstupní páskou tak, abychom mohli materiál v nástroji posouvat a nedeformoval se. Proto používáme konstrukci nástřihového plánu, kde je uvnitř obstřižený kulatý polotovar plechu, který se bude následně tvářet a zhotoví nám samotný výlisek. Jeho rozměr se navrhne většinou propočítáním objemu materiálu výlisku do objemu materiálu polotovaru. Tento polotovar spojíme se zbytkem vstupní pásky přes spojovací můstky a naváděcí trny můžeme umístit do samotného těla pásky.

3.6.1 Střížná oblast

Jedná se o první operace v postupovém nástroji, které zajišťují vystřižení otvorů a správné obstřižení polotovaru pro následné tváření. V prvním kroku nástroje jsou střížníky, které zhotoví otvory pro naváděcí trny, které zajišťují správné středění vstupního materiálu v následujících krocích nástroje. Druhý krok se vystředí na již vystřižené otvory a dvojicí střížníků zhotoví první obstřiženou oblast polotovaru pro budoucí výlisek. Ve třetím kroku dostřihneme zbylou oblast pro polotovar jedním střížníkem (tzv. mašlí). Původně jsem uvažoval o dvojici střížníků, jak to je v předchozím kroku. Ovšem tělo střížníku by bylo příliš slabé, tak jsem raději zvolil tuto variantu, která bude mít delší životnost.

Za touto mašlí je ještě umístěna odpružená zarážka (tzv. brzda), jelikož dle zkušeností z jiných projektů vím, že výstřih mašle může posunout polotovar především proto, že je již držen pouze obstřiženými spojovacími můstky. Brzda musí být odpružená kvůli bezpečnosti nástroje, pokud se pod ní dostane plný materiál, došlo by určitě k velkému poškození nástroje. Jako čtvrtý přípravný krok je navržen výstřih malého otvoru průměr 3 mm, který slouží jako odlehčení pro tažník v následujícím kroku.

Na obrázku č. 18 níže je vidět popsaná střížná oblast pro přípravu polotovaru se spojovacími můstky.



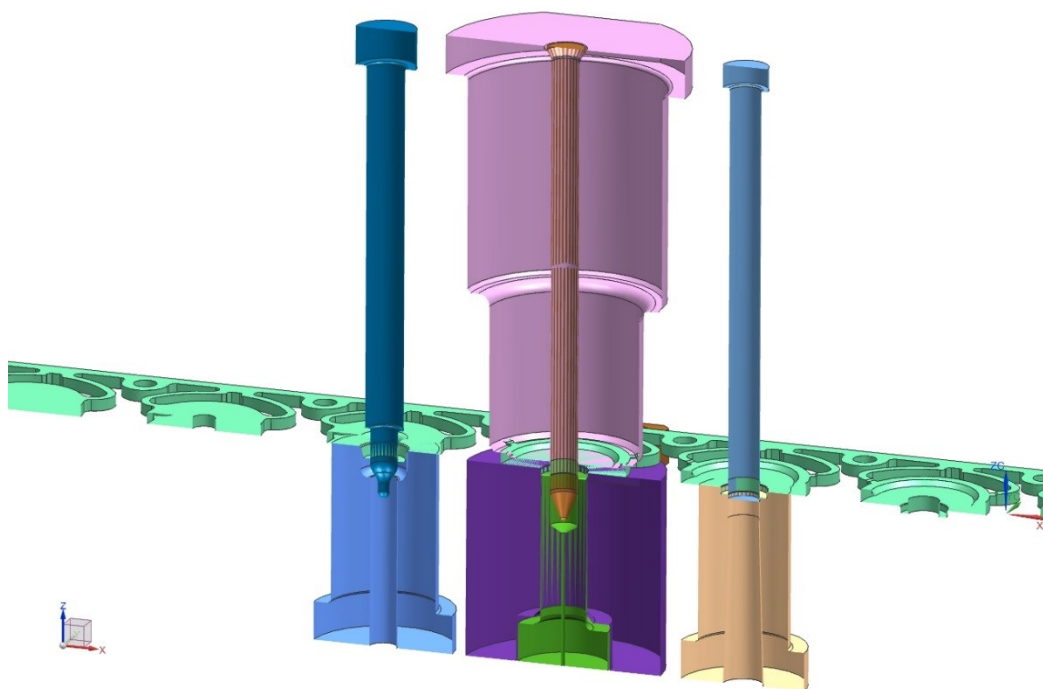
Obr. 18 Střížná oblast pro přípravu polotovaru výlisku

3.6.2 Tažná oblast s prvním tvářením (pěchováním)

Tažná oblast nástroje hned po obstřížení polotovaru má za úkol protáhnout a připravit krček výlisku a celkově dohotovit spodní část výlisku. Jedná se o první problematický krok v nástroji, jak jsem již zmínil v jedné z předchozích kapitol především proto, že nevím, jak se bude chovat vstupní materiál při tažení a následném tvářením.

Pro kombinovaný nástroj jsem si zatím připravil pro tuto oblast hned 3 kroky, jak je dobře vidět na obrázku č. 19 na další straně. V prvním kroku je umístěn tažník, který by se měl navést do před-stříženého otvoru o průměru 3 mm z předchozí střížné operace. Dalším krokem bude tvářením (pěchování), které by mělo zamáčknot volně vytažený krček zpět do horního zaoblení a mělo by nám zhotovit venkovní rozměr a tvar krčku. Následuje případný výstřih otvoru na jmenovitou hodnotu, pokud bychom nebyli schopni tento rozměr docílit tahem. Zatím bude tato pozice volná.

Souhrn těchto operací, především tahu a tvářením bude nejlepší vyzkoušet na testovacím nástroji, který nám snad více objasní chování použitého materiálu.



Obr. 19 Tažná oblast s prvním tvářením v řezu

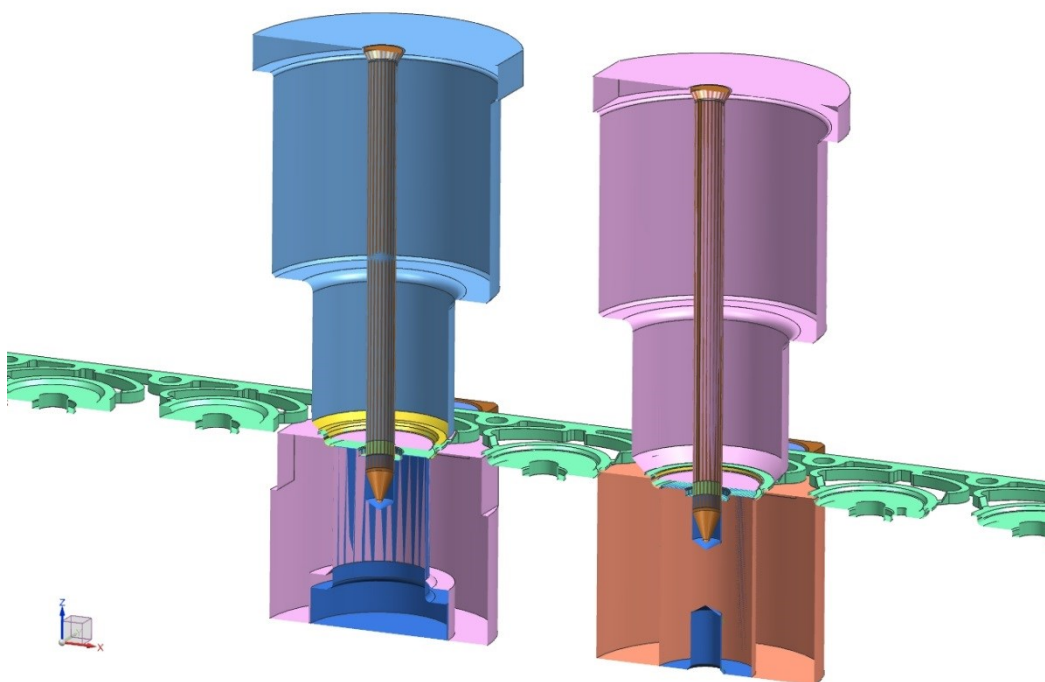
3.6.3 Tvářecí oblast (pěchování)

Tvářecí oblast působí v navrženém postupu nejjednodušeji, ale je naopak jedna z nejsložitějších. Jedná se o problematickou oblast, kde nejsou jasné výsledky.

Pro samotné tváření vnějšího límečku (svařovacího břitu) jsem vyčlenil dva kroky v nástroji, jak je vidět na obrázku č. 20 na další straně. Tyto pozice jsou v nástroji umístěny hned po doladění spodní části výlisku, tedy krčku. Mělo by zde dojít i k částečné přípravě pro vytáhnutí límečku (tedy svařovacího břitu). Přípravu zde nám zajistil tvářecí razník 1.

Další přípravu už zhotovím v první z této dvojice kroků. Postará se o ní tvářecí razník 2, který vymáčkne krček do výšky za pomoci spodní tvářecí matrice. Do které se napěchuje materiál a začne zhotovovat vnější tvar výlisku se zaoblením R1,2. Následující krok je osazen tvářecím razníkem 3 a bude sloužit, jako kalibrace venkovního tvaru a horní svařovací hrany.

Dělení těchto tvářecích pozic je lépe vysvětleno v další kapitole věnované samotnému nástroji a jeho konstrukci. Jelikož se lehce odlišují od standartních kombinovaných nástrojů, podobně jako tento výlisek.

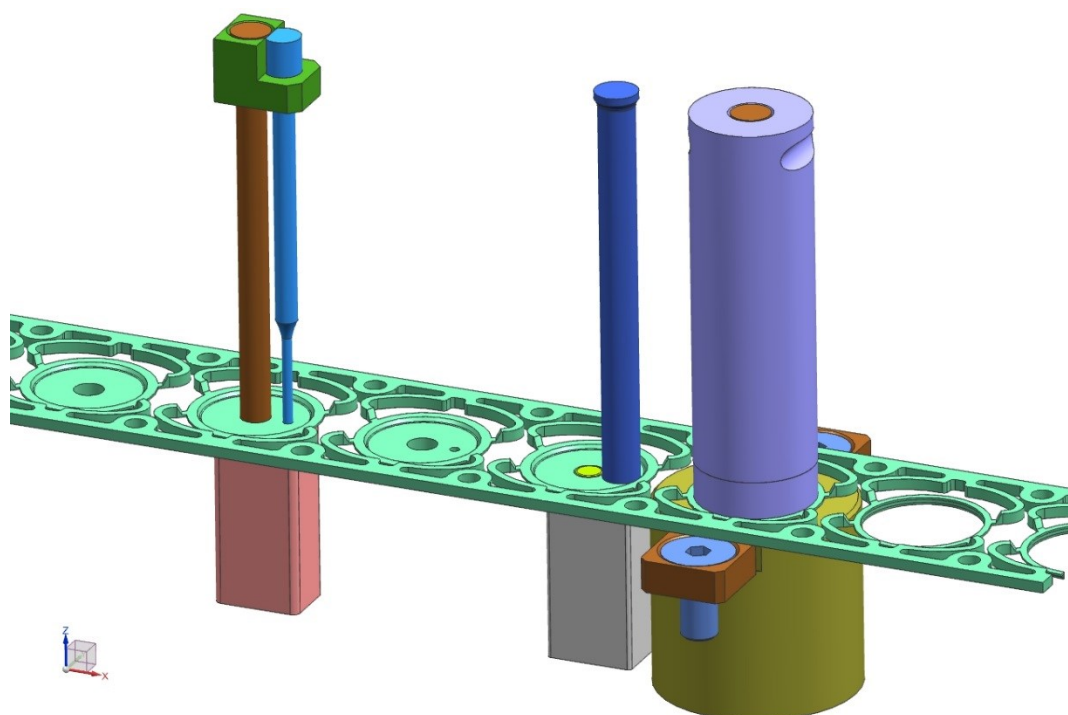


Obr. 20 Oblast tváření límečku v řezu

3.6.4 Oblast výstřihu výlisku a plnicího otvoru

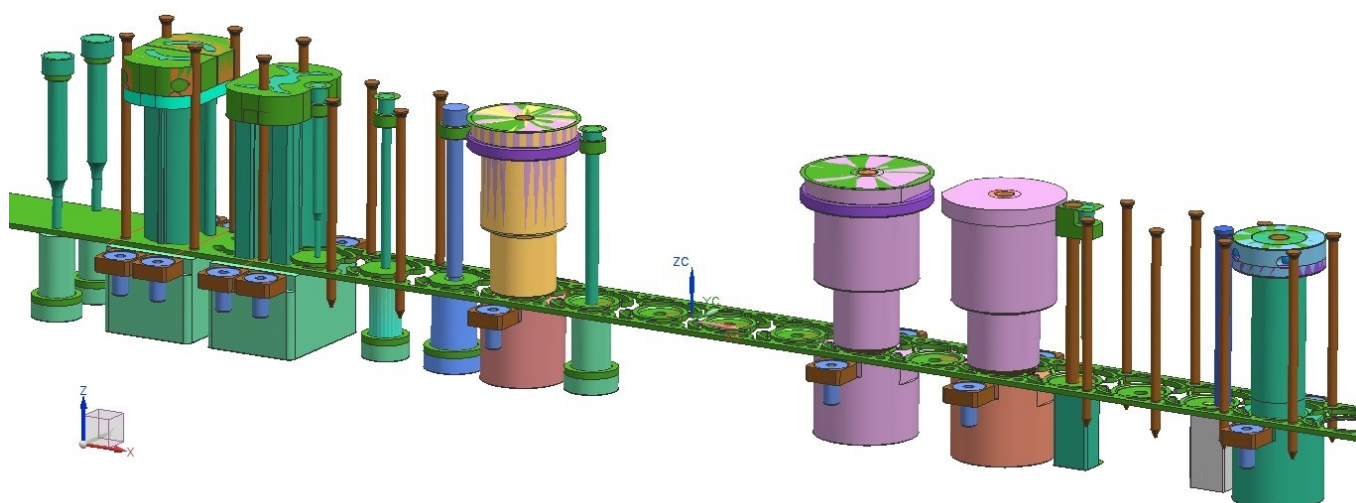
Výstřih výlisku se skoro vždy umísťuje na konec nástroje a většinou se jedná o poslední operaci v postupovém nástroji. V tomto posledním kroku dojde k oddělení výlisku od vstupní pásky (nástřihového plánu) a tím máme zhotoven finální výlisek. Úplně poslední operací je ještě většinou rozstřížení odpadu, ale to se už nezahrnuje do postupových návrhů. Záleží totiž na příslušné lisovně, jestli chce odpad namotávat nebo rozstříhávat. V našem případě umísťuji na rám nástroje rozstřihovací nůž pro dělení odpadů.

Před samotným vystřížením výlisku je ještě nutné zhotovit poslední dvě operace, a to výstřih plnicího otvoru a kalibrace plochy v jejím okolí. U tohoto otvoru nezáleží na kvalitě střížené plochy, proto můžeme pro tento střih vyčlenit pouze jeden krok nástroje. Po vystřížení otvoru umístím do dalšího kroku kalibraci horní plochy v okolí malého otvoru, kterou chce zákazník podle výkresu v rovinnosti 0,05 mm. Za touto kalibrací je již samotný vystřihovací razník, jak můžeme vidět na obrázku č. 21 na další straně. Vystřihovací razník nám odstříhne hotový finální výlisek ze vstupní pásky a zajistí jeho vnější průměr dle výkresu.



Obr. 21 Oblast vystřížení plnicího otvoru a výlisku

Na obrázku č. 22 níže je zobrazen celý nástřihový plán (postup lisování) s jednotlivými kroky, které jsme si na předchozích detailech jednotlivě představili. Samotný výkres nástřihového plánu je v příloze, jak jsem zmiňoval na začátku této kapitoly.



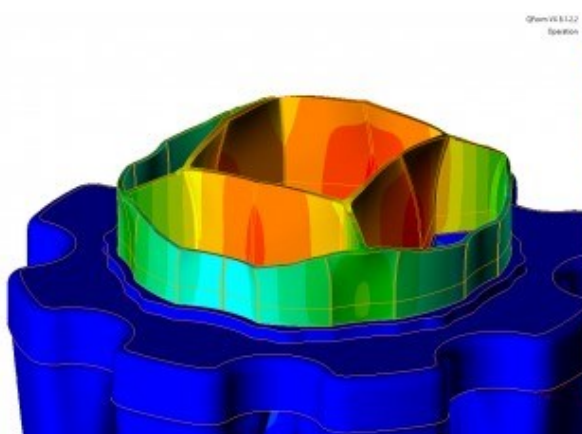
Obr. 22 Nástřihový plán s činnými komponenty

4 Výpočty a analýzy tváření výlisku

V případě, že mám zhotoven prvotní nástříhový plán a vím, jaký bude postup lisování, mohu zahájit první analýzy a testování problematických oblastí výlisku. Analýzu tvářecího procesu, případně jednotlivých pozic jsem nebyl schopen zajistit přímo v dodavatelské společnosti, jelikož nemá k dispozici žádný software pro podobné výpočty. Proto jsem si dovolil oslovit ke spolupráci domovskou vysokou školu a problematiku včetně výpočtů jsem řešil se svým školitelem a vedoucím této práce. Samotné výpočty byly potom provedeny na softwaru QForm, který v krátkosti představuji níže.

4.1 Software pro výpočty tváření - QForm

Program QForm vyvinula firma QuantorForm Ltd., která byla založena v roce 1991. Společnost má více než 25 let zkušeností v oblasti simulace tváření kovů. Jedná se o velmi pokročilý simulační program, který se používá pro vývoj a optimalizaci různých tvářecích procesů kovů. Využívá se v letectví, energetice, obraně a v dalších průmyslových odvětvích. Mnohé z těchto kovaných nebo lisovaných produktů, které byly vyvinuty s pomocí softwaru QForm, lze nalézt ve výrobcích, které jsou součástí našeho každodenního života. [15] [16]



Obr. 24 Ukázka analýzy výlisku v programu QForm [15]



Obr. 23 Skutečný výlisek k porovnání [15]

V programu QForm lze simulovat většinu tvářecích procesů, jako jsou kování za tepla, kování za studena, volné kování, profilové vytlačování, tváření kapalinou, orbitální tváření a tváření práškových kovů. QForm může dokonce simulovat tváření několika obrobků s různých druhů materiálů dohromady. Spočítáme zde také technologie z oblasti plošného tváření (tahy, ohyby, protlačování). Menší problém nastává se stříháním, které program neumí dopočítat do oddělení materiálu z důvodu rozpadu sítě. [15] [16]

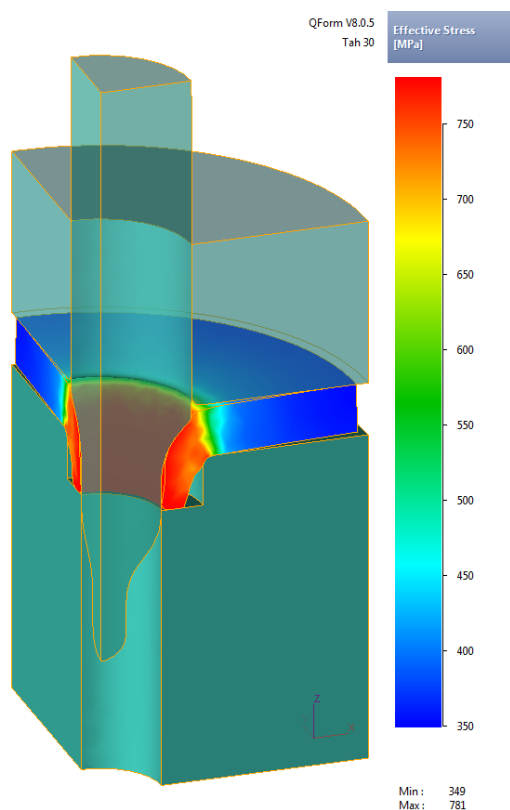
Doplňkové moduly umožňují simulaci při tepelném zpracování, elasticko-plastické řešení problémů při zahřívání, ochlazování a také simulace mikrostruktury při sledování velikosti zrna přes deformace. Program dokáže předpovídat materiálové vady, identifikuje distribuce teploty, spotřeby a vypočítává zatížení a deformační energie. Dále umí předpovídat konečný tvar, zkontroluje přítomnost technologických závad a odhadne zatížení a předběžnou životnost tvářecích nástrojů. [15] [16]

QForm podporuje import IGES a STEP souborů, které zabraňují ztrátě přesnosti typické pro STL soubory. Jedná se o první komerční software, který začal používat pokročilé algoritmy založené na metodě konečných prvků. To výrazným způsobem zpřesnilo výsledné simulace, které odpovídají reálnému procesu tváření. Pomocí simulací v programu QForm je možné snížit náklady na vývoj a nastavení technologických procesů. Program patří k jedněm z nejlepších programů na světě pro simulaci tváření, válcování a vytlačování kovů. Je též známý pro své uživatelsky přívětivé rozhraní, které nevyžaduje pokročilé znalosti tváření. Jedinou nevýhodou je velká náročnost na výkonný hardware a u náročných aplikací je nutné počítat s poměrně dlouhým časem výpočtu. Program obsahuje deset jazykových mutací a je široce používán ve více než 30 zemích po celém světě jak v oblasti průmyslové výroby, tak i v předních univerzitních a výzkumných centrech. [15] [16]

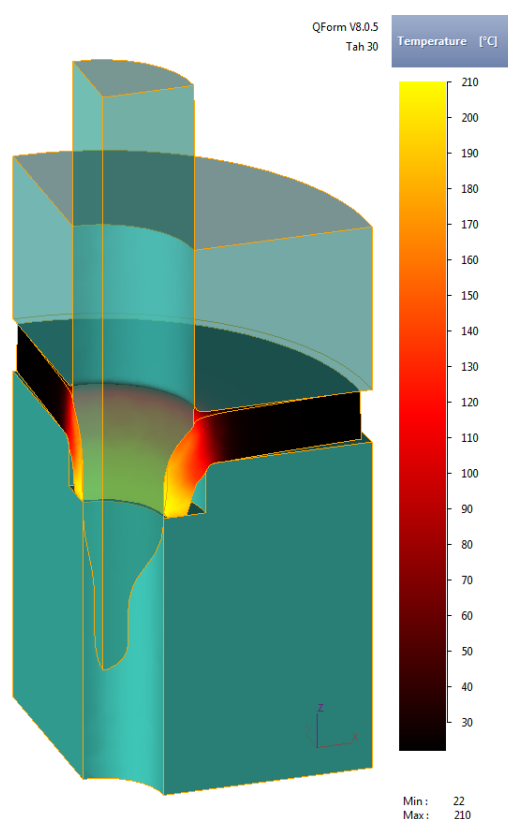
4.2 Analýza – Tažení a tváření krčku

V této kapitole se podíváme na první výsledky z výpočtových analýz a simulací ve zmíněném softwaru QForm, který jsem představil v předchozí kapitole. Výpočtové analýzy budu vždy provádět pouze na jedné čtvrtině modelu, jelikož to velice ulehčuje hardwaru počítače a zrychluje čas výpočtu. Navíc se jedná o adekvátní výpočet, jelikož samotný program tuto možnost umožňuje ve svém rozhraní nastavit. Do programu se importuje model dutiny a výlisku ve formátu STEP, v nastavení se rozčtvrtí a pro výpočet se využije pouze jedna čtvrtina. Výsledky z těchto analýz nám mohou přinést velmi cenné informace pro další postup ve vývoji výlisku.

První analýzu jsem se rozhodl provést na tváření krčku výlisku, což je jedna ze zmíněných problematických oblastí. Zde jsem se zaměřil především na analýzu tváření vytaženého krčku. Pro přesnější výpočet jsem provedl i simulaci samotného tažení, která je vidět na obrázku č. 25. Tato analýza nám nevykázala žádné problematické hodnoty napětí nebo teplot a tažení by mělo proběhnout bez větších potíží. Namáhání činných částí v této oblasti ani nezobrazují, protože vyšlo zanedbatelně.

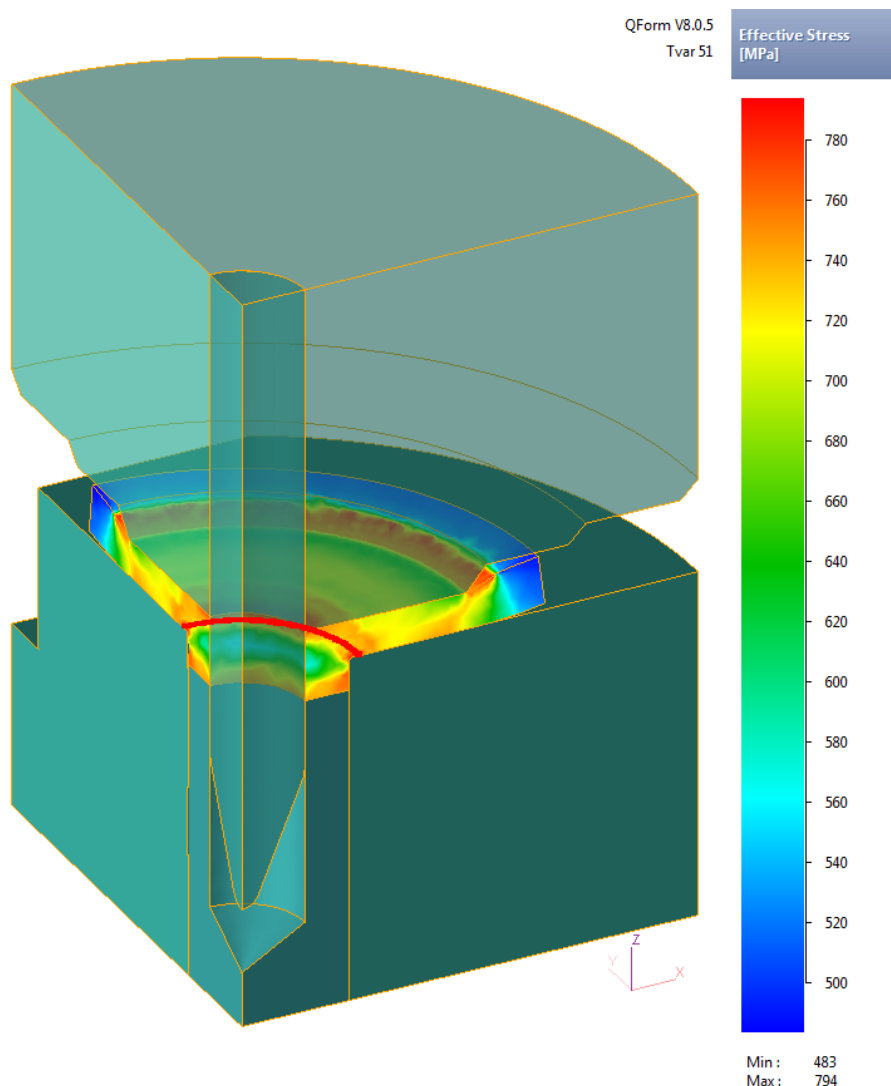


Obr. 25 Tažení - Efektivní napětí



Obr. 26 Tažení - Teplota

Pokračoval jsem zhotovením analýzy výlisku pro samotné tváření po tahu. V této pozici se volný krček pěchuje a má zatlačit materiál až do horního zaoblení. Dochází, také k zhotovení požadované výšky krčku a kalibraci jeho venkovního průměru. Efektivní napětí ve výlisku, které vidíme na obrázku č. 27 níže, dosahuje hodnot až 794 MPa. Jedná se o poměrně vysoko hodnotu. Nejhorší je oblast horního límečku na zešíkmené ploše a na okraji výlisku, která je v dalším kroku vystavena dalšímu pěchování. Kumulace energie v tomto místě může mít negativní vliv na další tváření výlisku a životnost činných částí. Hodnoty na spodní části dílu (tj. na krčku), dosahující až k 760 MPa nepředstavují vážný problém, jelikož díl se v této oblasti už nebude tvářet a je hotový.

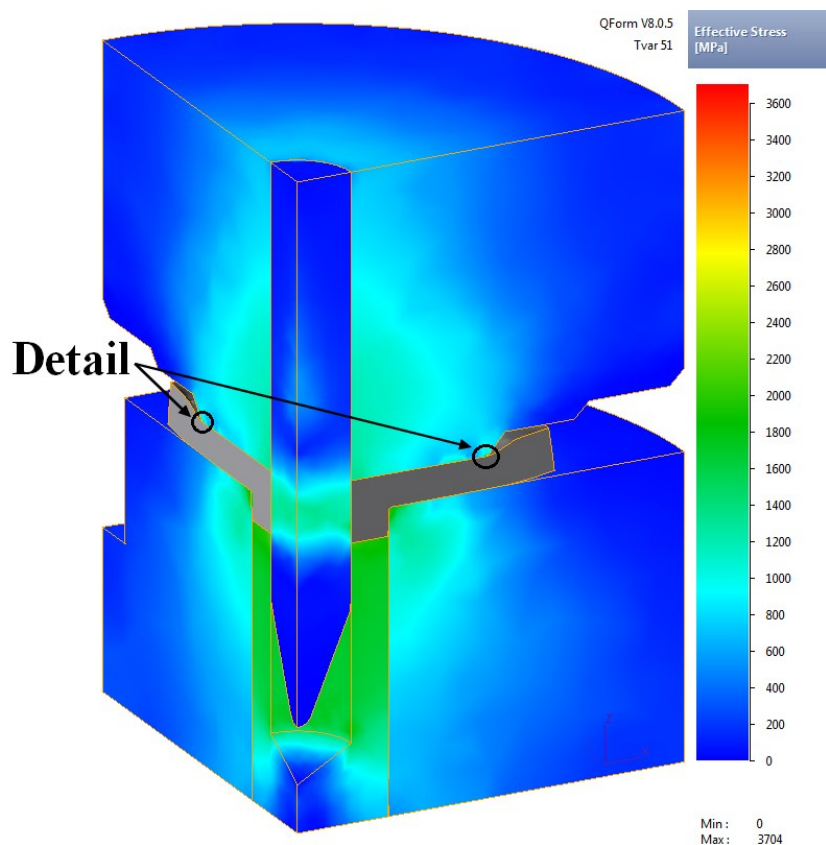


Obr. 27 Tváření - Efektivní napětí

Sytě červený kruh u středu výlisku nám znázorňuje možný vznik přeložek materiálu. Tyto přeložky vznikají pravděpodobně, jako důsledek velkého pěchování materiálu do volného prostoru zaoblení po tažení. Materiál zde ztéká ze dvou směrů a tím může docházet k vytvoření přeložek. První proud materiálu teče v ose Z vzhůru, vlivem tlaku spodního tvarového vyhazovače v tvarové vložce. Druhý proud materiálu teče do volného prostoru uprostřed výlisku při pěchování tvářecím razníkem v ose Z, ale tentokrát shora.

Materiál se částečně pěchuje i směrem ven z výlisku k budoucímu límečku, zde však dochází k velkému zpevnění, které je dobře vidět na horním obrázku č. 27. Proto zbytek materiálu teče cestou menšího odporu do volného prostoru uprostřed výlisku.

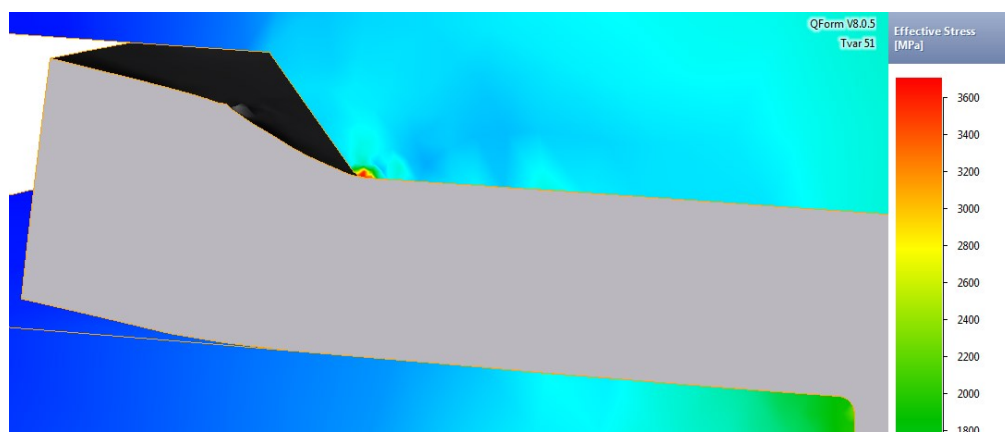
Přeložky nebudeme na dílech více řešit, protože analýza naznačuje pouze drobný výskyt, který nebude mít zásadní vliv na pevnost fyzických dílů. Navíc zákazník rentgenové zkoušky a kontroly těchto vad nepožaduje.



Obr. 28 Tváření - Efektivní napětí na nástroj

Zhotovený výpočet a analýza výlisku může také vyhodnotit namáhání na činné části nástroje. Na obrázku č. 28 je zobrazeno efektivní napětí na tvářecí část nástroje v oblasti prvního tváření. Nejvíce namáhaným dílem bude spodní tvarový vyhazovač výlisku, kde nám zelená barva určuje hodnotu okolo 2 000 MPa. Tato hodnota se blíží k statické pevnosti samotného materiálu tvářecí vložky a životnost tohoto dílu může být velmi snížena.

Kritických hodnot až 3 704 MPa dosahuje ještě jedno velmi malé místo na hraně vrchního razníku, jak je vidět na detailu níže (obr. č. 29). Je možné, že zde bude docházet k velkému opotřebení, které bychom mohli pozitivně ovlivnit zvětšením zaoblení.



Obr. 29 Tváření - Efektivní napětí na nástroj detail

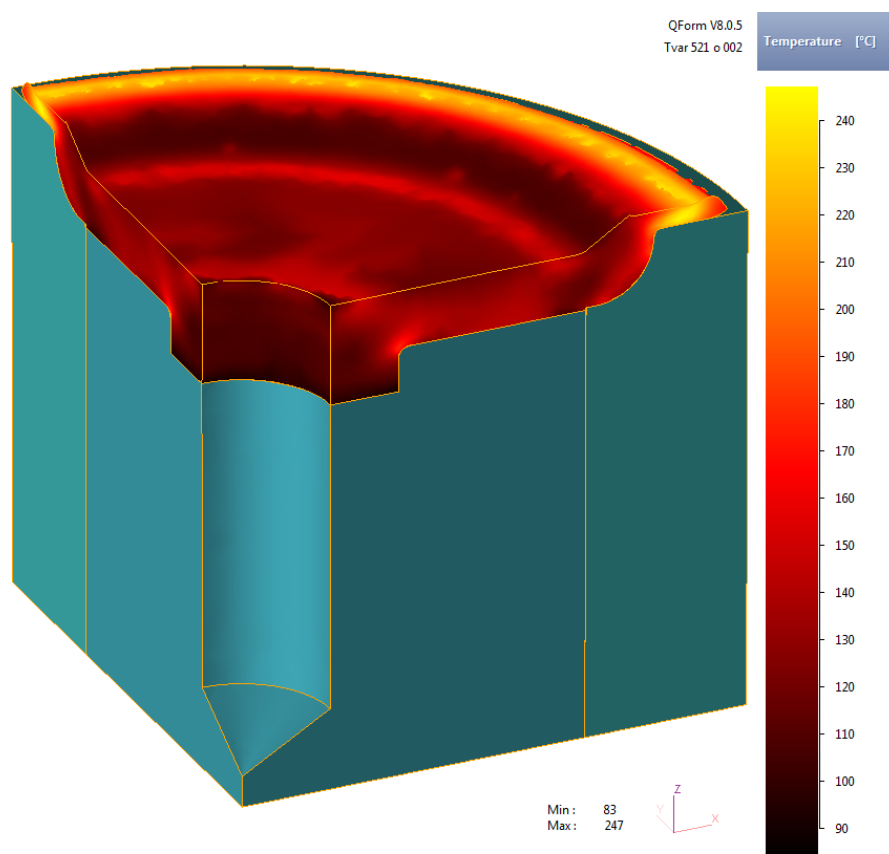
4.3 Analýza – Tváření límečku (svářecího břitu)

Druhou analýzu provedu na dalším kroku v navrženém postupu lisování. Jedná se o tváření límečku výlisku, který je vlastně horní částí víčka se svařovacím břitem. Největším problémem je, že se materiál pěchuje do uzavřené zápustky a navíc je potřeba zmáčknout plochu nutnou pro odstrižení dílce ze vstupní pásy.

V této kapitole prvně představím namáhání na samotný díl při tváření. Jako další část vyhodnotím předpokládanou životnost činných částí, protože již v předchozí analýze při prvním tváření bylo namáhání relativně vysoké. V tomto případě je možné, že bude namáhání ještě větší, což by nebylo pro další postup vhodné.

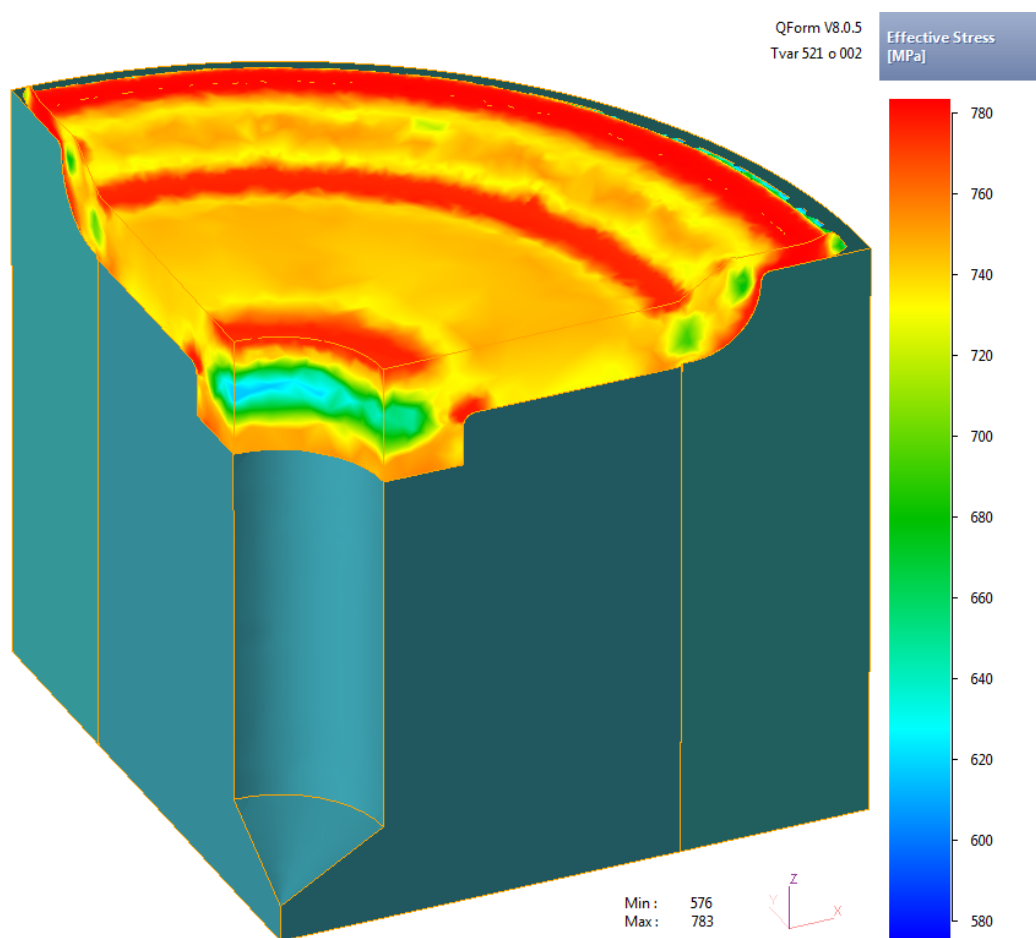
4.3.1 Tváření límečku

Samotné tváření límečku je velice náročné, jelikož je zde nutné zmáčknout materiál z tloušťky 1,5 mm na tloušťku 0,25 mm dle výkresu. Při této hodnotě vycházely hodnoty v analýze velice nevhodně a následné zkoušení na polotovarech potvrdilo domněnku, že tuto hodnotu nelze dosáhnout. Na základě tohoto zjištění jsem se rozhodl hodnotu upravit na rozměr 0,45 mm. Tuto kótu bude nutné prosadit, jako změnu výkresu.



Obr. 30 Tváření límečku - Teplota

Výsledky analýzy pro tuto upravenou hodnotu jsou o něco lepší, ale stále dosahují relativně vysokých hodnot. Na předchozí straně obrázek č. 30 zobrazuje tepelné namáhání na tvářený výlisek, kde teplota v místě přechování límečku (tzv. výronku) dosahuje až k hodnotě 247 °C. Tato teplota může nepříjemně ovlivňovat sériové lisování v postupovém nástroji. Obrázek č. 31 na této straně zobrazuje efektivní napětí, které je značně vysoké prakticky na celém výlisku. Ovšem největších hodnot až 783 MPa dosahuje opět v oblasti přechovaného límečku. Z obou zobrazených hodnot také vyplývá možnost extrémního namáhání a snížení životnosti na činných částech.

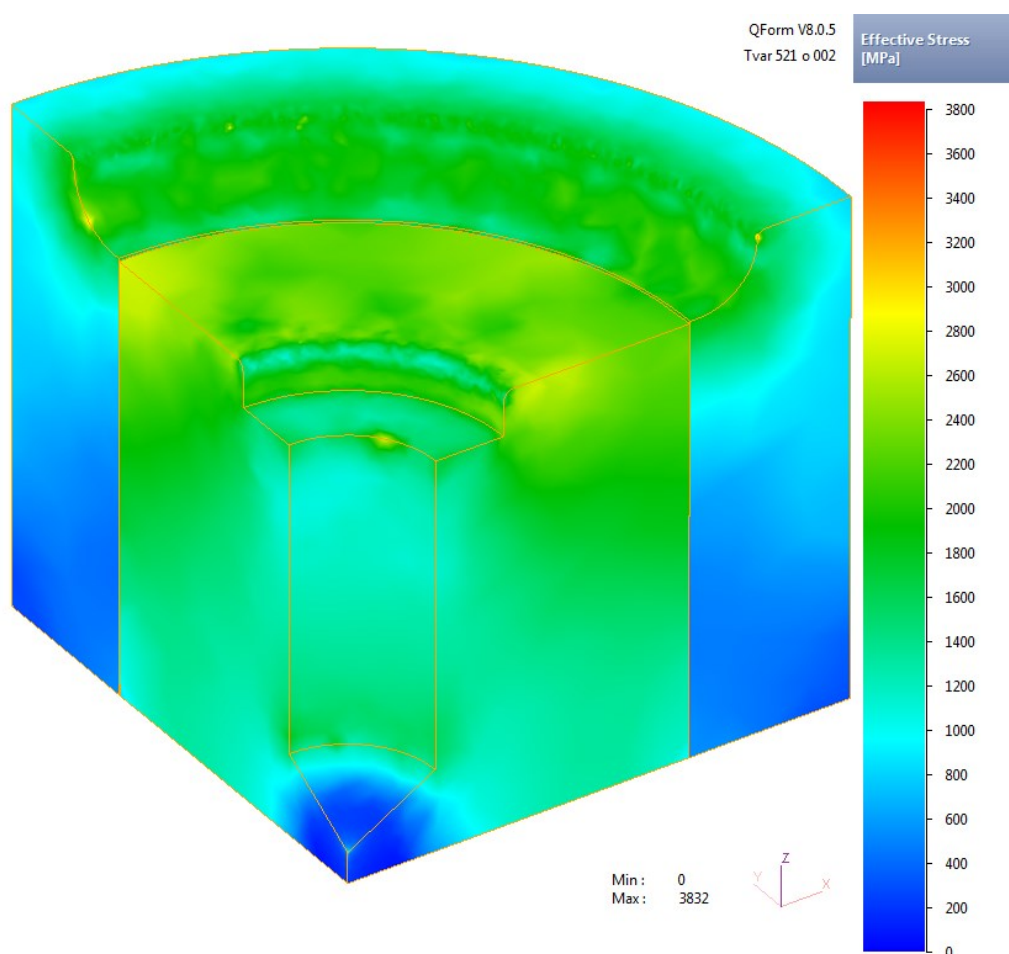


Obr. 31 Tváření límečku - Efektivní napětí

Na výstupech z analýzy vidíme, že i teplota na samotný výlisek nám vzrůstá a dosahuje vyšších hodnot než v předchozím tváření. Při jednotlivém lisování není zvýšená teplota při tváření důležitá. Ovšem při sériovém lisování v postupovém nástroji může způsobit jisté komplikace. Především při opakovaných cyklech se zvyšuje teplota, až do ohrožujících hodnot, kdy mohou být činné části nástroje náchylnější k poškození. Potom je nutné regulovat rychlost lisování nebo zajistit intenzivnější ochlazování nástroje.

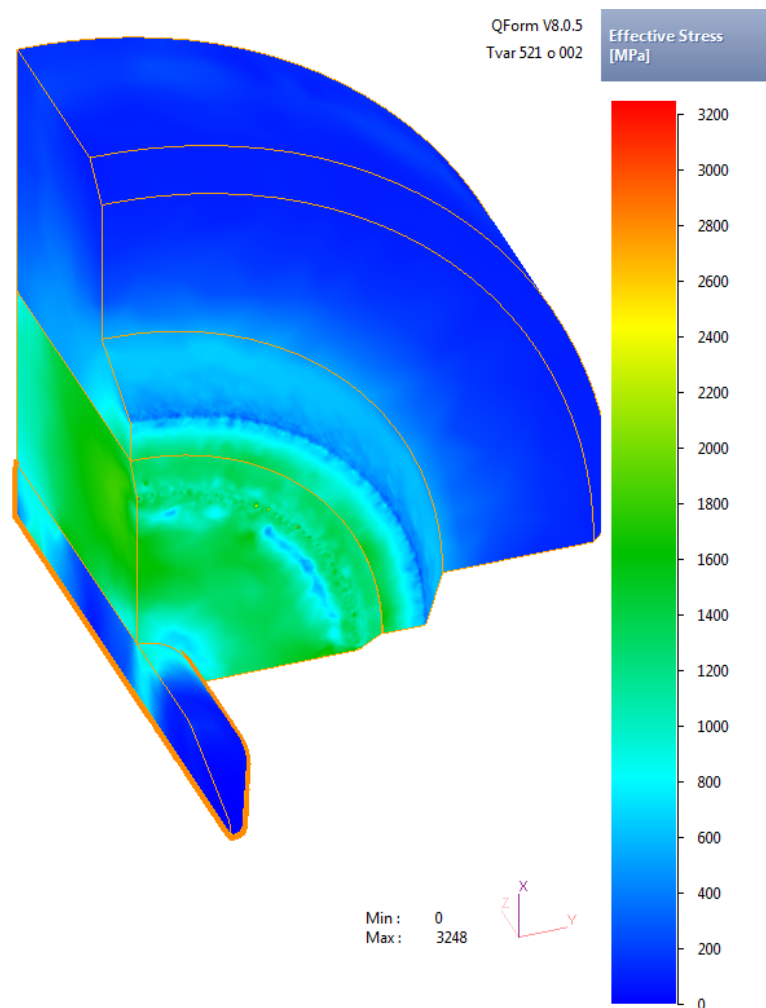
4.3.2 Životnost činných částí při tváření límečku

Jako další vyhodnocení analýzy pro tváření límečku je životnost samotných činných částí v této oblasti. Jedná se především o spodní tvářecí vložku s vyhazovačem a o vrchní tvářecí razník. Efektivní namáhání na spodní části tváření je vidět na obrázku č. 32. Plošné namáhání středového vyhazovače a tvarové matrice je opravdu značné. Lokální hodnoty dosahují, až k maximu tj. 3 832 MPa. Toto namáhání nám bude značně ovlivňovat a především zkracovat životnost tvářecí vložky a vyhazovače.



Obr. 32 Tváření límečku - Efektivní napětí na tvářecí vložce

Obrázek č. 33 na další straně zobrazuje efektivní namáhání na horní části nástroje, které není na tak vysoké úrovni a je navíc směřováno spíše do okrajové části v místě výronku. Jedná se o velmi obdobnou situaci jako při prvním tváření po tažení. V tomto případě však může docházet k větší abrazi na přechodové hraně, která může poukazovat na sníženou životnost. Efektivní namáhání lokálně vzrůstá až k max. hodnotě 3 248 MPa, což může také poukazovat na nižší životnost tohoto dílu.

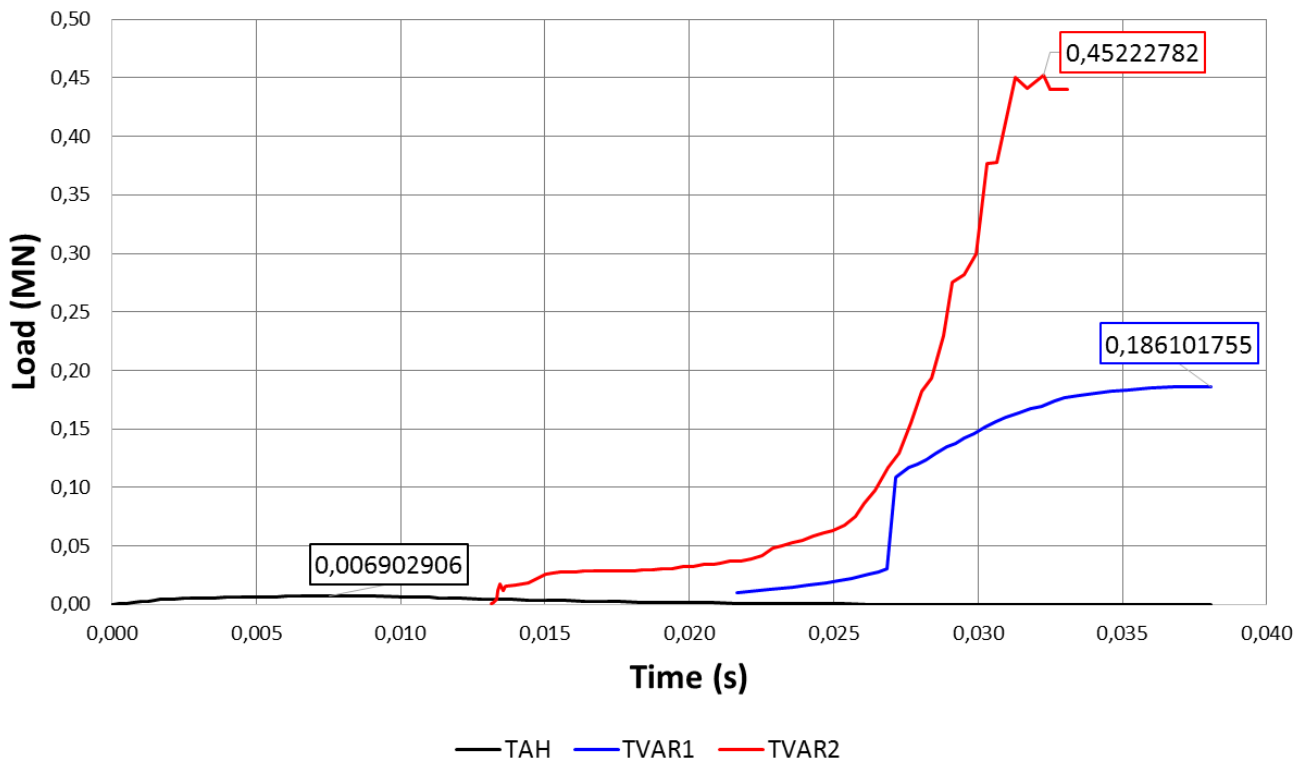


Obr. 33 Tváření límečku - Efektivní napětí na tvářecí razník

4.4 Výpočet lisovací síly pro testované oblasti

Program pro analýzy nám dokáže také vyhodnotit lisovací sílu pro testované oblasti, což se nám může velmi hodit při určení rozložení sil v nástroji. Především proto, aby byl výstředníkový lis pro sériové lisování namáhán souměrně a síla byla rovnoměrně rozložena. Síly ostatních oblastí (např. střížné oblasti), které jsme neanalyzovaly, lze spočítat lehce dle běžných vzorců.

Na další straně je obrázek č. 34, který zobrazuje graf tvářecích sil v jednotkách (MN) na časové ose. Samotná časová osa není podstatná, ale lisovací síla jednotlivých oblastí je pro nás velmi přínosná. Popisky pod grafem nám přiřazují sílu k příslušné oblasti tváření. První černá čára je pro Tah, jedná se o první tažení. Modrá čára je Tvar1 a první tváření hned po tažení a na konec červená čára Tvar2 označuje finální tváření límečku.



Obr. 34 Graf tvářecích sil

Výpočet střižné síly

Střižnou sílu (F_S) lehce vypočítám pomocí vzorce, který je uveden v teoretické části této práce (viz. kapitola 2.1.). Jedná se o podstatně rychlejší postup než provádět analýzu v programu. Mez pevnosti vstupního materiálu volím teoretickou největší hodnotu, která je v našem případě $R_m = 750 \text{ MPa}$ (dle Tab. 2 na str. 19).

Tloušťka vstupní pásky je $t = 1,5 \text{ mm}$. Obvod stříhů si zjistím změřením střižných hran v softwaru, v kterém jsem navrhl nástřihový plán a samotný nástroj. Obvod všech střižných hran v tomto případě je $O = 310 \text{ mm}$. Střižnou sílu je nutné zvětšit o zhruba 15%, které se udávají na případné opotřebení hran a další vnější vlivy.

$$F_S = (1,1 - 1,3) \cdot O \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \text{ [N]}$$

$$F_S = 1,2 \cdot 310 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 750 = 334\,800 \text{ N} = 335 \text{ kN} = 0,335 \text{ MN}$$

$$F = F_S + (0,15 \cdot F_S) = 335 + (0,15 \cdot 335) = 385,25 \text{ kN} = 0,385 \text{ MN}$$

Vypočítaná střižná síla je poměrně vysoká a je nutné ji při konstrukci nástroje sečíst s tažnou a tvářecí silou. Následně musím určit těžiště těchto sil v nástroji, abych nástroj na lise umístili na jeho střed, tím docílím rovnoměrného zatížení lisu.

5 Zkoušení výlisku na testovacím nástroji

Zkoušení problémových oblastí přímo na ocelových polotovarech z požadovaného materiálu je nejpřesnější způsob testování, který můžeme před návrhem nástroje použít. Samotné výpočty a analýzy jsou jistě přínosné, ale určitě neodhalí všechny nesrovnalosti, které mohou při samotném lisování nastat. Především proto, že výsledky analýz ukazovaly, že namáhání zejména při tváření bude vysoké. Rozhodl jsem se testování provést na všech problematických oblastech, abych získal též výsledky z reálného tváření. Zároveň jsem na těchto malých jednotkách mohl odladit použitelné rozměry činných částí.

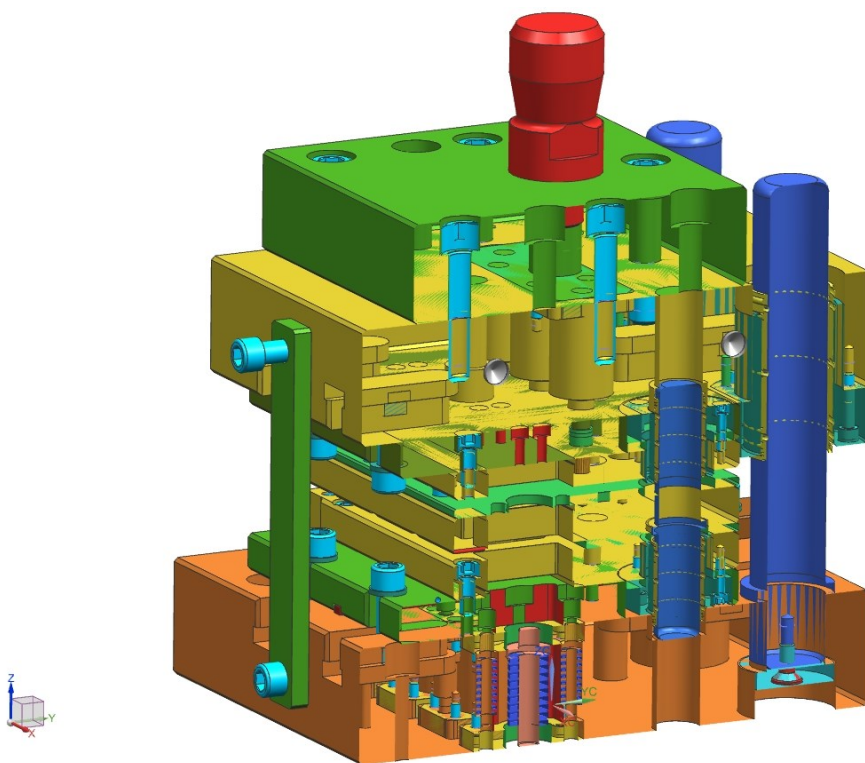
Fyzické zkoušení kritických oblastí jsem již byl schopen zajistit přímo v dodavatelské společnosti na testovacím nástroji, který je pro obdobné projekty vyroben. Musel jsem pouze navrhnout a nakreslit vnitřní jednotky s příslušnými tvary a navrhnout vhodné testovací pásky z požadované korozivzdorné oceli. Testovací nástroj v krátkosti představím v dalších kapitolách a pracovně ho nazvu „malý nástroj“.

5.1 Testovací „malý“ nástroj pro zkoušení složitých výlisků

Testovací nástroj (tzv. malý nástroj) slouží k otestování jednoduchých a dílčích tvarů při návrhu komplikovaných tvářecích nástrojů. Zkoušejí se v něm především tvářecí operace, jako je pýchování, tažení a obdobné náročnější technologie. Konstrukčně je tento nástroj navržen velice jednoduše, aby jeho výroba nebyla nákladná a především, aby se dal použít na více tvářecích operací pro více projektů. Samozřejmě primárně byl tento nástroj určený pro testování obdobných výlisku, které jsme ve společnosti řešili.

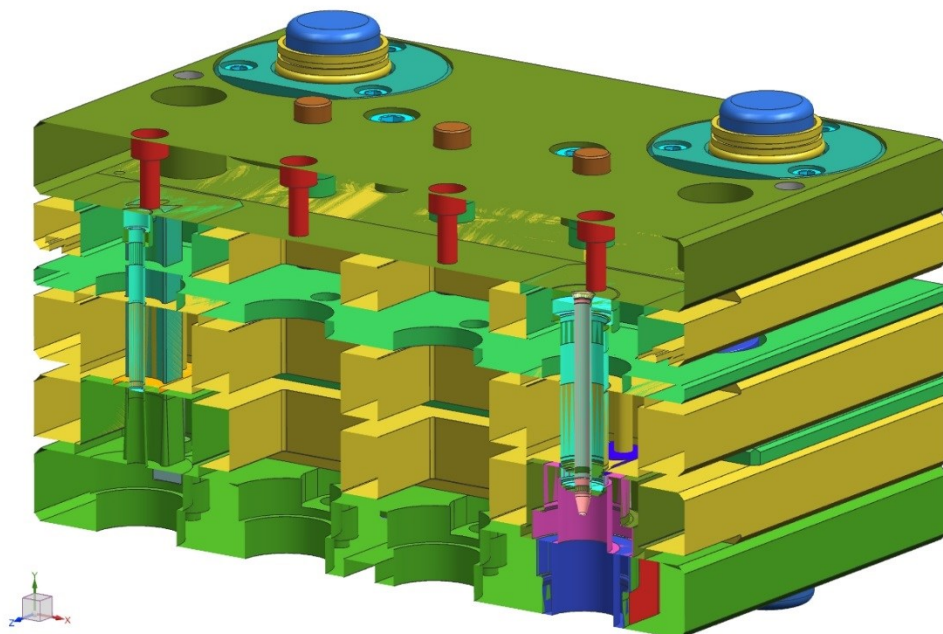
5.1.1 Konstrukce malého nástroje

Konstrukci malého nástroje tvoří základní tuhý stojánek z obyčejné konstrukční oceli a v něm je umístěna menší jednotka, kterou lze demontovat přímo na lise. Do této jednotky lze potom již osadit čtveřici tvářecích dutin (pozic), které zhotoví příslušnou operaci na zkušebním vzorku plechu. Vnitřní jednotku je možné zhotovit kalenou nebo měkkou podle namáhání nástroje. Náš malý nástroj má jednotky kalené, jelikož je využíván na více vývojových projektech s větší lisovací silou. Nespornou výhodou této konstrukce je jednoduché odladování a výměna jednotek, která ulehčuje a urychluje samotné testování. Na obrázku č. 35 níže je zobrazen testovací stojánek s vnitřní jednotkou.



Obr. 35 Malý nástroj - Stojánek s jednotkou v řezu

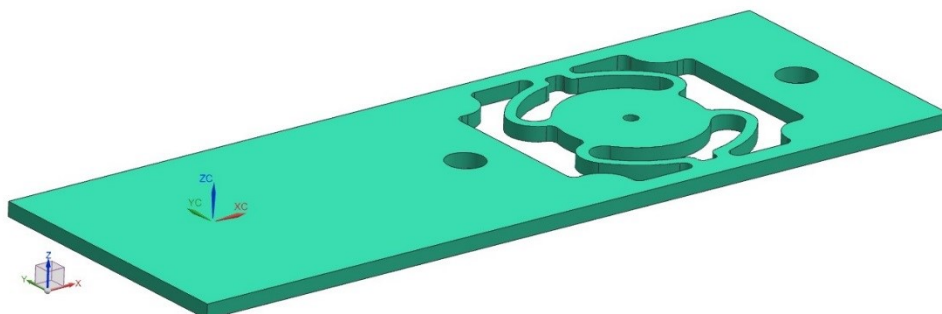
Samotné díly do jednotlivých dutin jsou již menší a lze je tedy zhotovit i kalené a případně z lepších nástrojových ocelí, jako jsou 1.3343 (19 830) nebo 1.2379 (19 573). V případě, že je namáhání na výlisku menší, lze použít obvyčejnější nástrojovou ocel. Příkladem může být velice známá a oblíbená „stabilka“ 19 312 (1.2842). Další výhodou tohoto menšího nástroje je rychlá výměna dutin a to pouze vyndáním vnitřní jednotky nástroje. Celý stojánek může nadále zůstat upnutý v lise. Tímto způsobem se velice dobře odlaďují i jednotlivé výšky tvárníků u příslušných tvářecích pozic. Upnutí lze provést na klasický výstředníkový lis o menší tonáži (např. 63 tun), kde se lépe odlaďují jednotlivé malé dílčí pozice nástřihového plánu. Na obrázku č. 36 je vyobrazena vnitřní jednotka malého nástroje. Jednotku zobrazují záměrně v řezu, jelikož jsou v něm dobře patrné vybrání pro čtveřici dutin, dvě jsou osazené a dvě prázdné.



Obr. 36 Jednotka malého nástroje

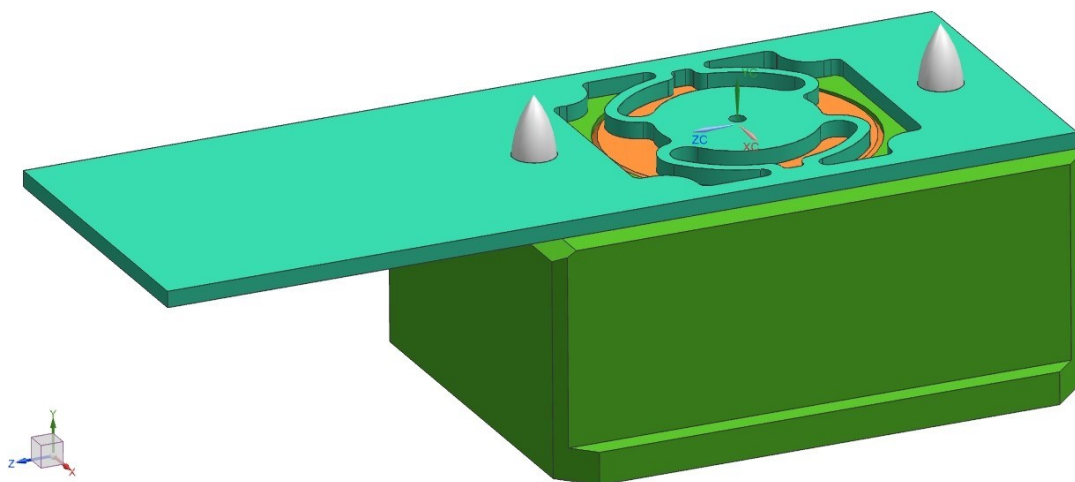
5.1.2 Tvar zkušebních přístřihů pro malý nástroj

Zkušební přístřih jako polotovár je vyroben z materiálu 1.4301, šířka 30 mm a tloušťky 1,5 mm, přesně jak je navrženo pro nástřihový plán. Pouze délka se zhotoví podle možností malého nástroje. Rovná část přístřihu vyčnívá z nástroje, aby se dal polotovár dobře zakládat a také vyndávat. Přístřih má obstřižený tvar podle navrženého nástřihového plánu, ale pro zjednodušení výroby se první přístřihy zhotovují pomocí laserového řezání na CNC strojích. Zhotovené přístřihy jsou levné a velmi dobře splňují účel. Na obrázku č. 37 je zobrazený základní tvar zkušební přístřihu.



Obr. 37 Zkušební přístřih pro malý nástroj

Obstřížený tvar na přístřihu je shodný s nástřihovým plánem, včetně vnitřního průměru samotného kruhového polotovaru. Otvor uprostřed polotovaru je také vypálen a jedná se o přípravu pro první tažení. Jeho rozměr určuje rozměr tažníku. Dvojice otvoru o průměru 4 mm před a za polotovarem slouží k následnému vystředění přístřihu na středící kolíky v malém nástroji. Vystředění přístřihu je velice důležité pro správné najetí tvarových částí na polotovar. Založený přístřih v dutině jednotky je vidět na obrázku č. 38 níže.



Obr. 38 Založený přístřih v dutině malého nástroje

5.2 Zkoušení – Tažení a tváření krčku

V předchozí kapitole jsem představil testovací tzv. „malý“ nástroj a navržené přístřihy pro zkoušení kritických oblastí výlisku. Nyní si ukážeme přímo testované pozice a výsledky jednotlivých zkoušek. Některé tyto testy byly pro další vývoj velkým přínosem.

5.2.1 Tažení krčku

Jedním z nejvíce testovaných prvků na tomto menším nástroji je určitě tažení krčku s následným pěchováním ostré hrany. Při tomto testování jsem použil již zmíněný zkušební přístřih z materiálu 1.4301 o tloušťce 1,5 mm. Tvar pro výlisek nebyl vystřížený, ale byl vyrobený laserovým vypálením včetně prostředního otvoru (před-střihu) pro následující tažník, jak jsem již zmiňoval v předchozí kapitole. To se později ukázalo jako problém, jelikož kvalita vytaženého krčku u vypáleného nebo vystříženého otvoru před tahem se rapidně lišila. Tento problém detailněji popisují v další kapitole.

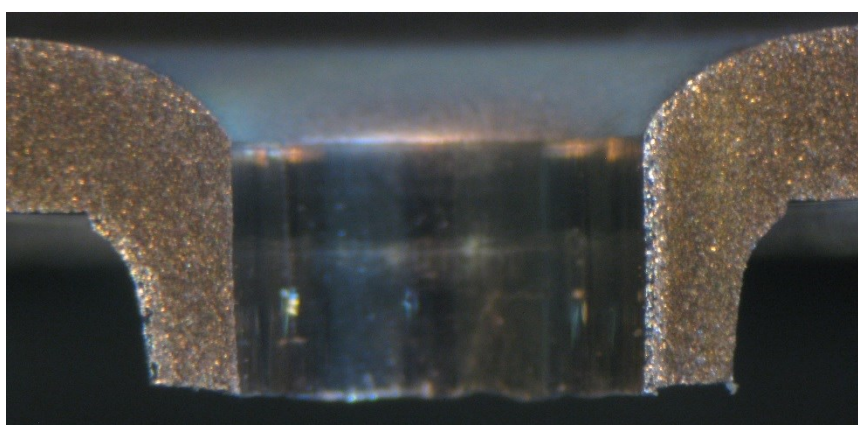
Na níže přiložených obrázcích č. 39 a 40 jsou vidět první výlisky po tažení. Pod nimi je umístěn Obrázek č. 41, který zachycuje vytažený krček v řezu pod mikroskopem. Optika mikroskopu zvětšuje 30 krát. Kvalita taženého otvoru je velmi dobrá a nejsou patrné žádné praskliny nebo jiné vady.



Obr. 39 Tažení - Horní zaoblení



Obr. 40 Tažení - Vytažený krček



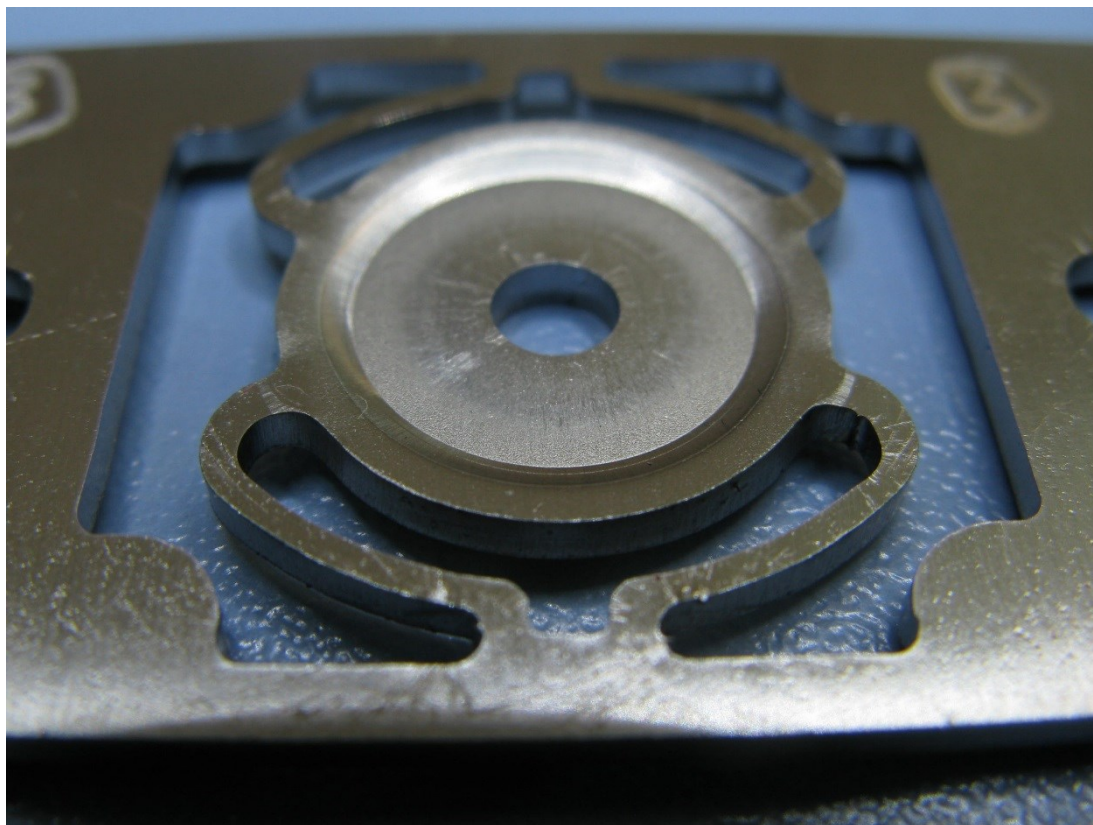
Obr. 41 Tažení – Vytažený krček v řezu

5.2.2 Tváření krčku po tažení

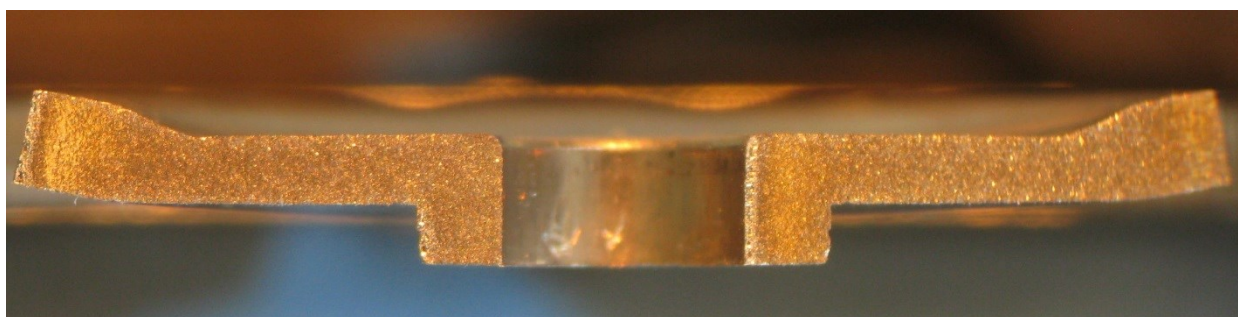
Další operací po tažení krčku je první tváření (pěchování), které, jak jsem již popisoval, má za úkol domáchnout vrchní zaoblení a zhotovit krček na výkresový rozměr. Tváření se povedlo odladit poměrně rychle a na vhodně vytažených výliscích nevznikl žádný problém, jak můžeme vidět na obrázcích níže.

Výsledný krček má správný vnější tvar a horní zaoblení je domáchnuté prakticky do ostré hrany. Tento výsledek byl nad očekávání dobrý, ale bylo ho dosaženo pouze díky dobře připraveným výliskům z tažné operace.

Na obrázku č. 42 níže pod textem je vidět dosažení takřka ostré hrany, ale tato ostrá hrana nevycházela u všech výlisků. Některé výlisky měly zaoblení, které je dobře patrné na obrázku č. 43 také níže, kde je zobrazen výlisek v řezu. Toto malé zaoblení se částečně vytrácí při dalším tváření límečku v následujícím kroku. Na tomto řezu je také dobře patrná počáteční kontura tvaru, která se musí v následujícím druhém tváření přeměnit.



Obr. 42 Tváření krčku - Pohled na horní namáčknutí



Obr. 43 Tváření krčku - Řez polotovarem

Rozměr otvoru ve výlisku se zatím také podařilo dosáhnout. Odpovídal hodnotě tažníku a středícího čepu z pozice tváření. Kvalita otvoru byla velmi dobrá, protože otvor nebyl střižený. Neměl tak klasickou strukturu hladkého povrchu s odtrženou částí. Tohoto výsledku se podařilo docílit dobrou kombinací před-stříhu, tažníku a středícího čepu.

Na obrázku č. 44 níže vidíme velmi dobrý vnější tvar krčku, který vznikl po tváření. Jak bylo již výše zmíněno, takto dobrému a nepotrhanému krčku vděčíme především dobře vytaženým krčkům v předchozí operaci.



Obr. 44 Tváření krčku - Pohled na krček

5.3 Zkoušení – Tváření límečku (svářecího břitu)

Pokud máme otestované výlisky tahem a následně prvním tvářením je na řadě další krok dle postupu lisování. Jedná se o druhé tváření (pěchování). Pracovně nazýváme tento krok jako tváření límečku. Jde o finální tváření výlisku, které má za úkol připravit vrchní svářecí břit a límeček pro odstřižení výlisku. Ve spodní části dílu tvaruje pouze vnější zaoblení výlisku. Oblast krčku se již netvaruje, je hotova z předchozí operace.

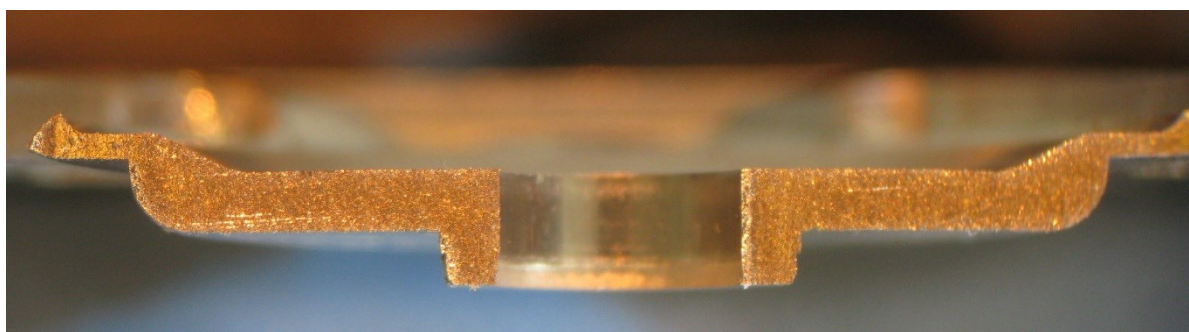
Samotné tváření probíhá pěchováním výlisku do spodní tvarové vložky (zápustky), která zhotovuje venkovní zaoblení a zároveň tvoří podpěru pro spodní část límečku (výronku). Z horní strany provádí pěchování tvářecí razník, který prohlubuje vmáčkнутý tvar ve výlisku a tím tlačí materiál do okrajové části. V okrajové části se tvoří límeček (výronek) tím, že odtéká materiál a zároveň se připravuje horní plocha pro svařovací břit.

Horní pohled na výlisek po tváření límečku je zobrazen na obrázku č. 45, kde je vidět již vytvořené odlehčení pro svařovací břít a horní část límečku. Po druhém tváření je již také vyostřena hrana po původním tažení na vnitřním otvoru. Na obrázku je také dobře patrné větší roztažení tvářecích můstků, které mají při tomto tváření největší efekt. Dochází zde k přesunu větších objemů po obvodě výlisku. Což je nejlépe patrné, pokud si porovnáme zobrazené obrázky v řezu u tohoto tváření a u předchozího prvního tváření.



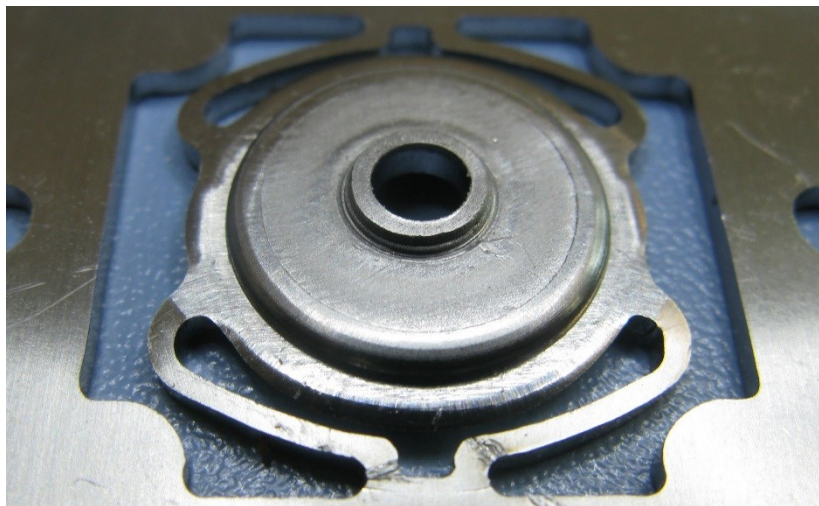
Obr. 45 Tváření límečku - Pohled na horní namáčknutí

Níže zobrazený obrázek č. 46 v řezu nám ukazuje podobu finálního výlisku po druhém tváření a jeho konturu tvaru. Na obrázku je dobře patrný límeček výlisku (výronek), který po odstřížení zhotoví čelo svařecí hrany a venkovní rozměr výlisku včetně rovné odtržené části, která je na výkrese kótovaná. Kontura tvaru výlisku není prohnutá a je velice stejnoměrná, což je jistě velmi pozitivní.



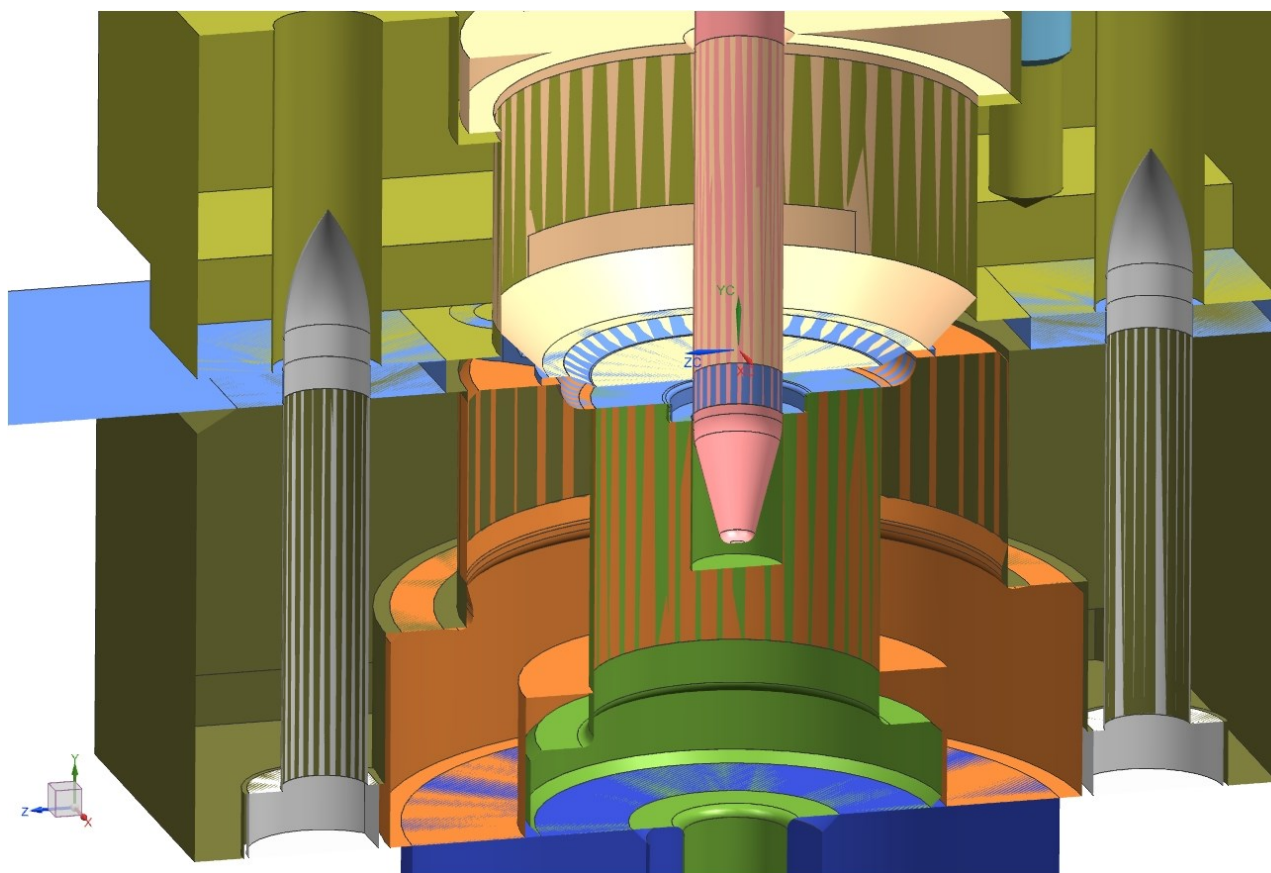
Obr. 46 Tváření límečku – Řez polotovarem

Spodní pohled na výlisek při tváření límečku je zobrazen na obrázku č. 47 níže, je zde pěkně vidět venkovní zaoblení výlisku. Krček v této tvarovce se již nemění, ale je zde vidět drobné otlačení na spodní ploše výlisku od vyhazovače. Uzavřený tvar zápustky nedovoluje jiné vytlačení výlisku než vyhazovačem.



Obr. 47 Tváření límečku - Pohled na krček

Závěrem této kapitoly vkládám obrázek č. 48 níže, kde je vidět řez tvářecí jednotkou malého nástroje pro tváření límečku.



Obr. 48 Tváření límečku - Řez tvářecí jednotkou malý nástroj

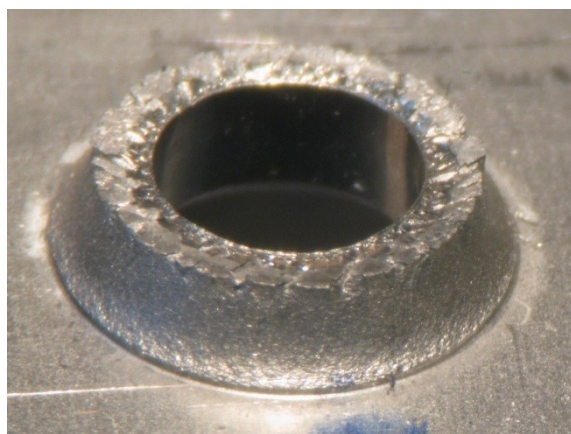
6 Sériový kombinovaný nástroj a jeho zkoušení

Samotná konstrukce a návrh kombinovaného nástroje pro tento řešený projekt již není tak náročná, jako bylo samotné řešení tvarových částí nástroje a postup lisování. Proto se v této kapitole nevěnuji samotnému nástroji pro sériové lisování detailně, ale pouze okrajově seznamuji s konstrukcí. Podstatnější téma této práce souvisí s návrhem funkčních tvarů, které se nepovedlo zcela dořešit při zkoušení a testování. S některými technickými problémy jsme se také setkali při zkoušení vyrobeného kombinovaného nástroje.

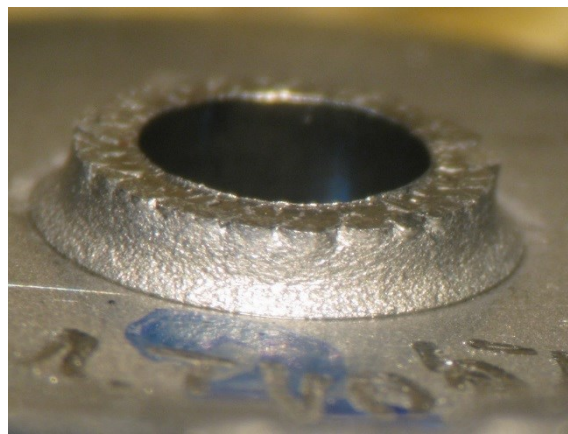
V této kapitole se pokusím nastínit některé nejpodstatnější a nejhlavnější problémy, které se vyskytly při samotném zkoušení vyrobeného sériového nástroje. Poukazují na to, že ne vždy nám analýzy a zkoušení na polotovarech přinesou správné a vypovídající výsledky. Občas se stane, že se nechtěně uvedeme v omyl, případně zasáhne náhoda a neočekávané vnější vlivy ovlivní zkoušení. Tímto způsobem můžeme dostat značně zavádějící výsledky ze zkoušení. Opakem jsou případy, kdy jsou jasné problémy z analýz, ovšem přesto všechno se zhotoví nástroj a potom se potýkáme se značnými problémy.

6.1 Nové a neodhalené technické problémy

Jedna z velmi nepříjemných neodhalených komplikací se přihodila při prvním zkoušení sériového nástroje. Jednalo se o tažení krčku s následným tvářením, které se v sériovém nástroji chovalo zcela odlišně než při testování v malém nástroji. Při zkoušení se krček vůbec netrhal a vzhledově vypadal velmi dobře. Současné tažení krčku začalo vykazovat silné trhání a roztřepení konců (viz obrázek č. 49). Vzhledové vady se projeví i po tvářením, kde se částečně praskliny zmenšily vlivem petchování materiálu, ale prasklinky zůstaly lehce patrné (viz obrázek č. 50).



Obr. 49 Tažení krčku - problematické

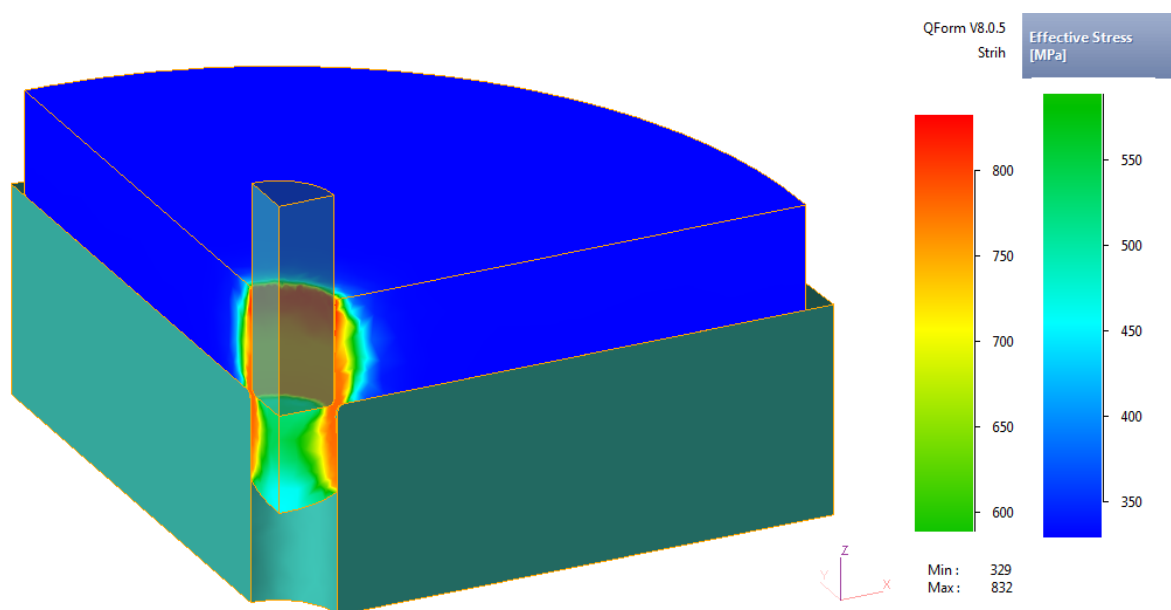


Obr. 50 Tváření krčku - problematické

Nejdůležitější bylo zjistit, kde mohl vzniknout problém. Jedinou velkou změnou, bylo nahrazení přístřihů vypálených za vystřiženou pásku ze svitku.

Poslal jsem tedy do zkušební laboratoře polotovary přístřihu zhotovený výpalkem a část našeho svitku materiálu v domněnku, že bude jiné mechanické nebo chemické složení. Tyto zkoušky nám ovšem prokázaly velmi nepatrné rozdíly v tvrbě těchto ocelí a bylo jasné, že problém je skrytý někde jinde.

Takže jediný rozdíl v těchto přístřizích byl ve zhotovení středového otvoru, který byl nyní vystřižený a dříve se vypaloval laserem. Padlo tedy podezření na unavení oblasti po vystřižení otvoru a zde nám mohla pomoci analýza.



Obr. 51 Střižený otvor - Efektivní namáhání

Na obrázku č. 51 je vidět zhotovená analýza stříhu otvoru. Jak jsem zmínil, v analýze nemůžeme materiál prostřihnout, jelikož by došlo k rozpadu sítě a chybě ve výpočtu. Proto analýzu stříhu dokončujeme těsně nad střižnou vložkou. Ovlivnění výpočtu díky tomuto zvláštnímu postupu nebude na výsledku prakticky patrné.

Efektivní napětí dosahuje místy až 832 MPa, a to je hodně vysoká hodnota. Ovlivněná oblast v okolí stříhu způsobuje problémy při tažení krčku. Bylo nutné se znovu pustit do zkoušení a pokusit se najít nejvhodnější kombinaci rozměrů, která zajistí správné a kvalitní tažení krčku.

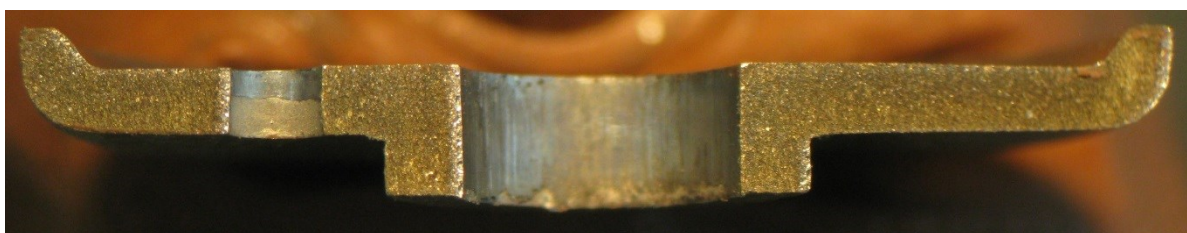
Dalším problémem, který se vyskytl se zvýšením tohoto efektivního napětí, je nedostatečně domáčkuté vrchní zaoblení po původním tažení. Na výpalcích vznikala krásná ostrá hrana a nyní na střižených kusech zůstává původní zaoblení po tažení, jak je dobře vidět na obrázku č. 52 na druhé straně.



Obr. 52 Tváření krčku - Problematické zaoblení horní hrany

Další zkoušení a testování různých kombinací rozměrů vedlo k dobré kombinaci prostříženého otvoru, tažníku a tváření. Takto zhotovený krček vypadal již obstojně a trhání materiálu nebylo tak velké. Jediné, co se už nepovedlo zlepšit, byla právě ostrá hrana na horní straně výlisku. Příčinou byla změna rozměrů, díky níž došlo ke zmenšení objemu materiálu, který mohl tuto oblast zaplnit. Navíc mechanické namáhání vlivem stříhu se zvýšilo a materiál už nebylo vhodné více pěchovat. Nezbyla tedy jiná možnost, než dokončit ostrou hranu finálním vystřížením průměru 4,1 mm. Nejedná se o technologicky nejlepší řešení, ale jiné jsem zatím nenašel.

Na obrázku č. 53 níže je vidět v řezu prostřížený otvor krčku s malou částí odtrženého materiálu. Obrázek je pořízen na hotovém kuse, takže vlevo je patrný prostřih malého otvoru pro plnění baterie. Jelikož se tento otvor stříhá do plného a zpevněného materiálu, je odtržená část materiálu poměrně velká, ale střížná vůle je v pořádku.



Obr. 53 Střih otvorů po tváření v řezu

6.2 Úpravy a změny odvozené z předchozích analýz a zkoušení

Původní nástřihový plán, který jsem podrobně popsal ve třetí kapitole, je prakticky shodný, změnily se pouze tvary dílčích operací. Další patrnou změnou byly rozměry činných částí, které jsme si mohli ověřit při testování na malém nástroji.

Všechny tyto rozměrové změny zde nezmiňuji, jelikož by to značně přesahovalo rozsah a význam této práce. Dalším důvodem je, že některé tyto údaje jsou považovány za jisté firemní a technologické „know-how“, jak tyto projekty realizovat. Dodavatelská společnost si nepřeje zveřejňovat podrobné rozměry.

Po technické komplikaci s tažením krčku, které popisují v předchozí kapitole, je nutné doplnit finální výstřih otvoru za tažení a tváření krčku. V původním návrhu s touto možností počítám a v nástroji byl proto zhotoven volný krok, který byl v tomto místě osazen středícím čepem. Lehkou úpravou lze tento středící čep nahradit střížníkem o průměru 4,1 mm.

Další výraznější změna se udála na pozici pro tváření límečku, kde jsme po prvních analýzách a testech uvažovali, že bude pouze jedna tvářecí pozice pro límeček. Především proto, že materiál nerez se velice zpevňoval a jeho další tváření nebylo dle analýz vhodné. V sériovém nástroji však na jedné pozici neustále praskala spodní tvářecí vložka vlivem velkých sil a tlaků.

Rozdělení do dvou kroků značně ulehčilo první tvářecí vložce a praskání lehce pokleslo. V současnosti tedy využíváme oba předem navržené kroky s tím, že nejvíc práce odvede první tvářecí vložka, druhá pouze kalibruje spodní zaoblení a vrchní límeček. I když pokleslo praskání tvářecích vložek, jejich velké opotřebení zůstalo. Nejčastějším opotřebením je vyštípnutí tvaru, jak zmiňuji v další kapitole.

6.2.1 Životnost činných částí při tváření límečku

Velmi nízká životnost činných dílů, kterou správně určila analýza tváření, se potvrdila v plném rozsahu. Největší namáhání potvrdila analýza na spodní tvářecí vložku v oblasti druhého tváření (tj. tváření límečku), protože se zde pěchuje výlisek do uzavřeného tvaru (zápustky) a materiál má snahu odtékat a tlačit do stěn této tvarovky. Tato tvářecí vložka také při testech nejčastěji podlehlá prasknutí nebo vyštípnutí. Při testování došlo většinou jenom k vyštípnutí tvaru. Praskání celých matic jsem ve větší míře zaznamenal, až v sériovém nástroji.

Nejčastější poškození je možné vidět na obrázcích č. 54, 55 a 56 níže. Bohužel obrázek prasklé tvářecí vložky nemám k dispozici, jelikož se již tato závada nevyskytuje. Dříve prasklé díly ani jejich obrázky se nedochovaly.



Obr. 55 Vyštipnutá větší část tvářecí vložky



Obr. 56 Vyštipnutá menší část tvářecí vložky



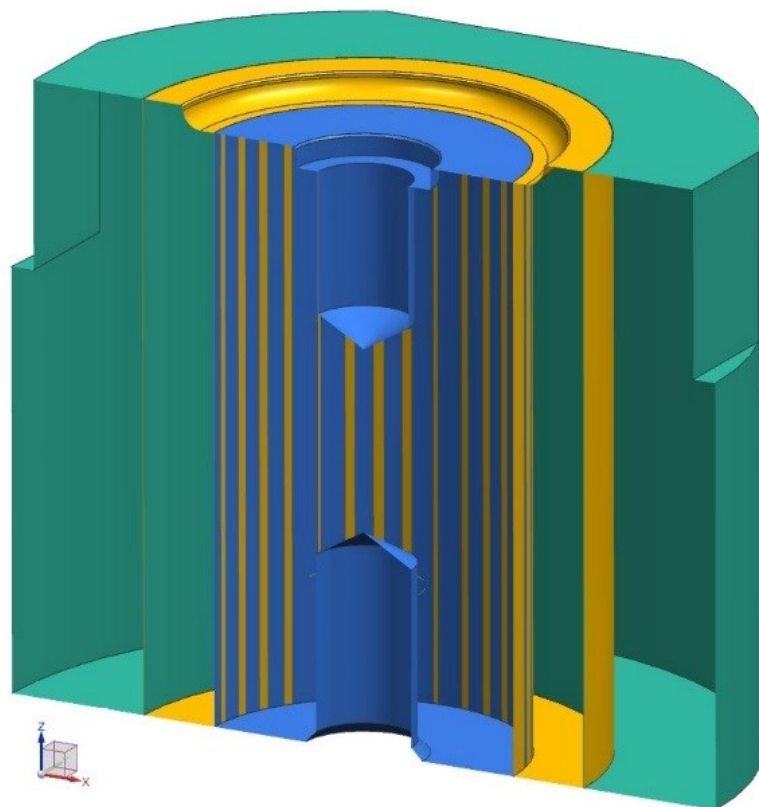
Obr. 54 Vyštipnutá spodní část tvářecí vložky

Tvarovou vložku jde opravit, pokud je jenom vyštipnutá. Provede se obnovení vrchního tvaru a ze spodní strany se podloží kalenou podložkou. Tato oprava jde provést jednou na nejvýš dvakrát. V případě, že tvářecí vložka praskne celá, je neopravitelná.

Nejvíce nám vložky praskaly při pokusu snížit tvářecí oblast límečku na její jmenovitou hodnotu (tj. $0,25 +0,1 / -0,05$ mm). Pokud jsme se drželi na horní hranici, tvářecí vložky vydržely podstatně více. Dalším dobrým krokem proti praskání bylo rozdělení tváření do dvou kroků, síla se zřejmě rozdělila mezi dvě dutiny a praskání ustalo. Proti poškození tvaru se částečně osvědčily v další kapitole zmíněné úpravy.

6.2.2 Lisované tvářecí pouzdra z tvrdokovu

Rozdělení oblasti tváření límečku do dvou kroků lehce snížilo praskání matric, ale poškození tvaru se zatím nepovedlo zabránit. Životnost tvářecích vložek ve spodní části nástroje je tak stále slabá přesně dle výsledku analýz. Praskání matric jsem se proto pokusil zabránit rozdělením tvářecí vložky na dva díly. Zhotovil jsem tak skládanou tvářecí vložku, jak je vidět na obrázku č. 57 níže.



Obr. 57 Skládaná tvářecí vložka s vyhazovačem

Venkovní vložka je z kalené oceli 1.3343 (kalena na 60+2 HRC) a do ní je vsazené tvářecí pouzdro (jádro) zhotovené z tvrdokovu. Tento speciální materiál odolává vysokým tlakům. Navíc bude tvrdokovové pouzdro vsazeno do kalené vložky s přesahem, který zvýší napětí proti tvářecí síle. To by nám mělo snížit výslednou sílu namáhání a zvýšit, tak životnost těchto dílů. Samozřejmě se nejedná o rapidní zvýšení, jelikož opotřebení také velmi ovlivňuje cyklické namáhání projevující se dle rychlosti lisování.

Vhodně navržený přesah nám pomohla určit opět analýza tváření, jelikož je pro tyto výpočty také navržena. Provedli jsme sérii výpočtů, které nám ukázaly, jako nejlepší variantu nalisování vložky s přesahem 0,06 mm na průměru.

6.3 Lisy použité pro zkoušení a sériové lisování

Kombinovaný postupový nástroj pro sériové lisování je velmi náročný na celkovou lisovací sílu. Nástroj je nutné umístit minimálně na 160 tunový lis.

První výroba a zkoušení se provedla na starším, ale přesto dostačujícím lis LEK 160. Tento jednoduchý výstředníkový lis s rámem ve tvaru C se při maximálním tváření prohýbal a rozevíral. Tento negativní jev je pro dlouhodobé lisování nevhodný a byla ohrožena životnost lisu samotného. Ovšem pro zkoušení byl tento lis vhodnější, jelikož je menší a nástroj je pohodlně dostupný pro nástrojaře a technika lisování.

Na sériovou produkci jsme nástroj umístili do čtyř sloupkového lisu STA 160/1600 P2. Zde již nedocházelo k žádným průhybům. Lis je celkově větší i tužší a dostupnost nástroje při sériové produkci není potřebná.

6.3.1 Výstředníkový lis LEK 160

Výstředníkové lisy řady LEK jsou určené zejména ke stříhání, děrování, ohýbání, protlačování, kalibrování a mělké tažení. Dále je lze použít pro ostříhování výkovek ve všech odvětvích průmyslové výroby. Díky jejich univerzálnosti jsou vhodné jak pro nasazení do tvářecí linky a do automatizovaných tvářecích pracovišť s průmyslovými roboty a manipulátory, tak i na ruční vkládání polotovarů do nástroje. Přestože jejich konstrukce byla navržena před více než dvaceti lety, vyhovují i nejnovějším bezpečnostním předpisům. Níže je uvedena technická specifikace výstředníkového lisu ZTS LEK 160. [17]

Tab. 4 Základní parametry lisu LEK 160 a STA 160 [17] [18]

	Lis LEK 160	Lis STA 160/1600 P2
Jmenovitá síla [kN]	1 600	1 600
Výkon motoru [kW]	11	37
Zdvih beranu [mm]	25 - 160	8 - 100
Rychlost lisování [zdvih /min.]	40 - 80	40 - 300
Rozměr beranu pro upnutí [mm]	710 x 425	1 600 x 800
Rozměr stolu pro upnutí [mm]	1 000 x 740	1 600 x 800

6.3.2 Lisovací automat ebu STA 160/1600 P2

Lisy řady STA od společnosti ebu Umformtechnik GmbH jsou velmi efektivním strojem pro tváření. Jejich modulární konstrukce umožňuje postupné rozšíření až po plně automatizovaný systém. Jsou vyráběné ze svařované oceli a jejich optimalizovaná konstrukce FEM zaručuje nejvyšší tuhost. Všechny ostatní komponenty, jako je pohon, hnací ústrojí, spojka, ložisko a beran, jsou modulární od renomovaných výrobců. Lisy řady STA mají omezenou velikost a lze je tak použít pouze do určité velikosti výsledného výrobku. Obecně je tato řada lisů schopna vyvinout tlak až 10 000 kN při délce stolu 3000 mm. Při potřebě větších rozměrů musí být lisovací postup rozdělen do několika etap. Níže je uvedena technická specifikace lisu ebu STA 160/1600 P2. [18]



Obr. 58 Lis LEK 160 [19]



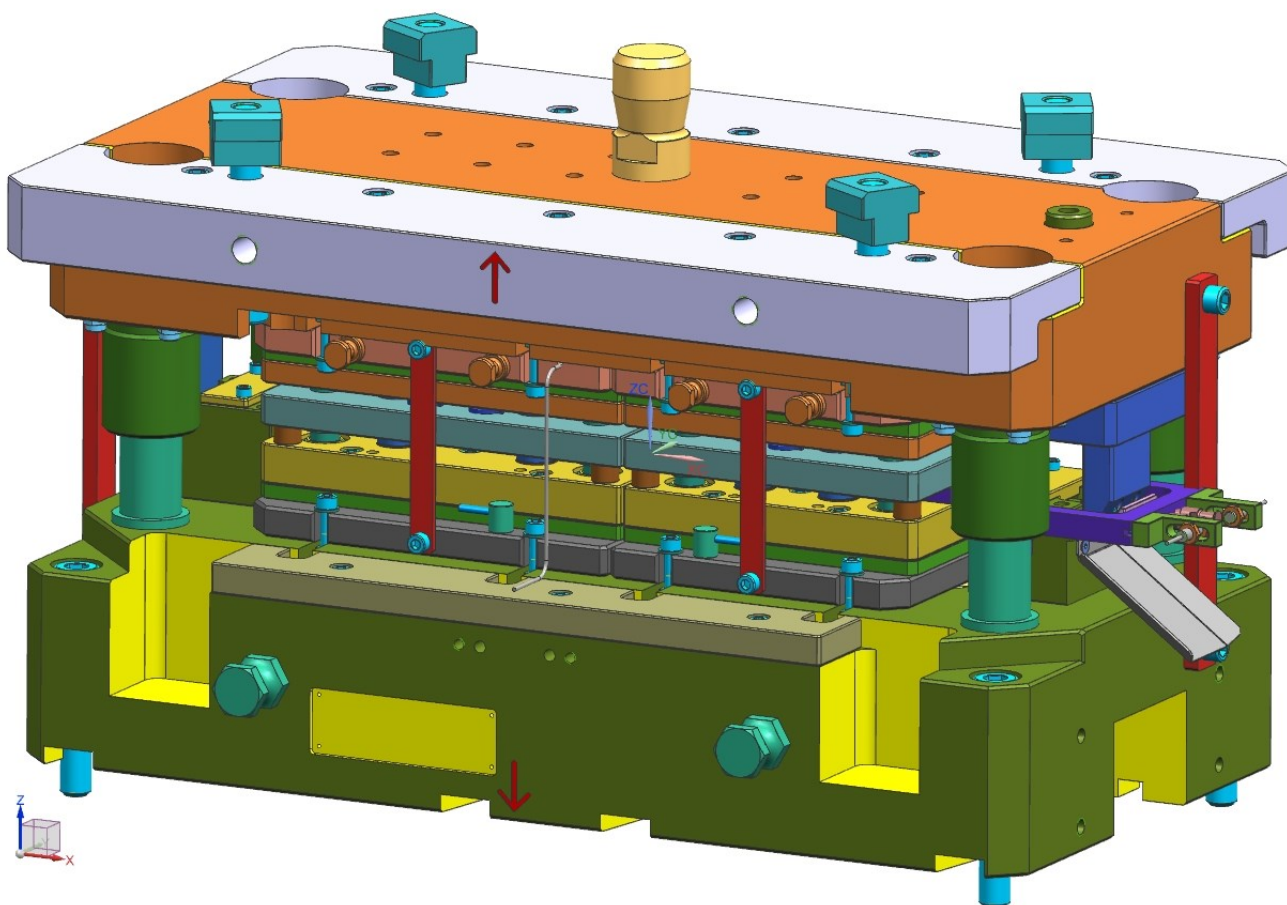
Obr. 59 Lis STA 160/1600 P2 [18]

6.4 Konstrukce kombinovaného nástroje

Pro tyto náročné projekty se osvědčila lehce složitější, ale výhodná konstrukce nástroje. Konstrukce je velmi obdobná jako u malého testovacího nástroj, který jsme používali na zkoušení a představoval jsem ho v předchozí kapitole.

Nástroj je rozdělen na dvě menší jednotky, které jsou ve své podstatě samostatné nástroje se svým vlastním vedením. Každá jednotka má 4 vodící sloupky a je přesně vsazena a umístěna ve velkém rámu stojánku. Z tohoto rámu lze obě jednotky jednoduše vyndat a díky své nižší hmotnosti se s nimi dobře manipuluje.

Stojánek nebo také velký rám má většinou také svoji čtveřici, někdy jenom dvojici vodících sloupků o větším průměru. Výhodou této konstrukce je především výměna náhradních dílů a opravy, jelikož velký rám zůstává stále na lise. Vyndávají se pouze vnitřní jednotky, které jsou, jak jsem již zmínil, lehčí a menší. Díky tomu jsme schopni dříve opravit nebo vyrobit některý z poškozených dílů, např. při prasknutí nebo jiném poškození. Celý nástroj, stojánek s jednotkami, je zobrazen na obrázku č. 60 níže.

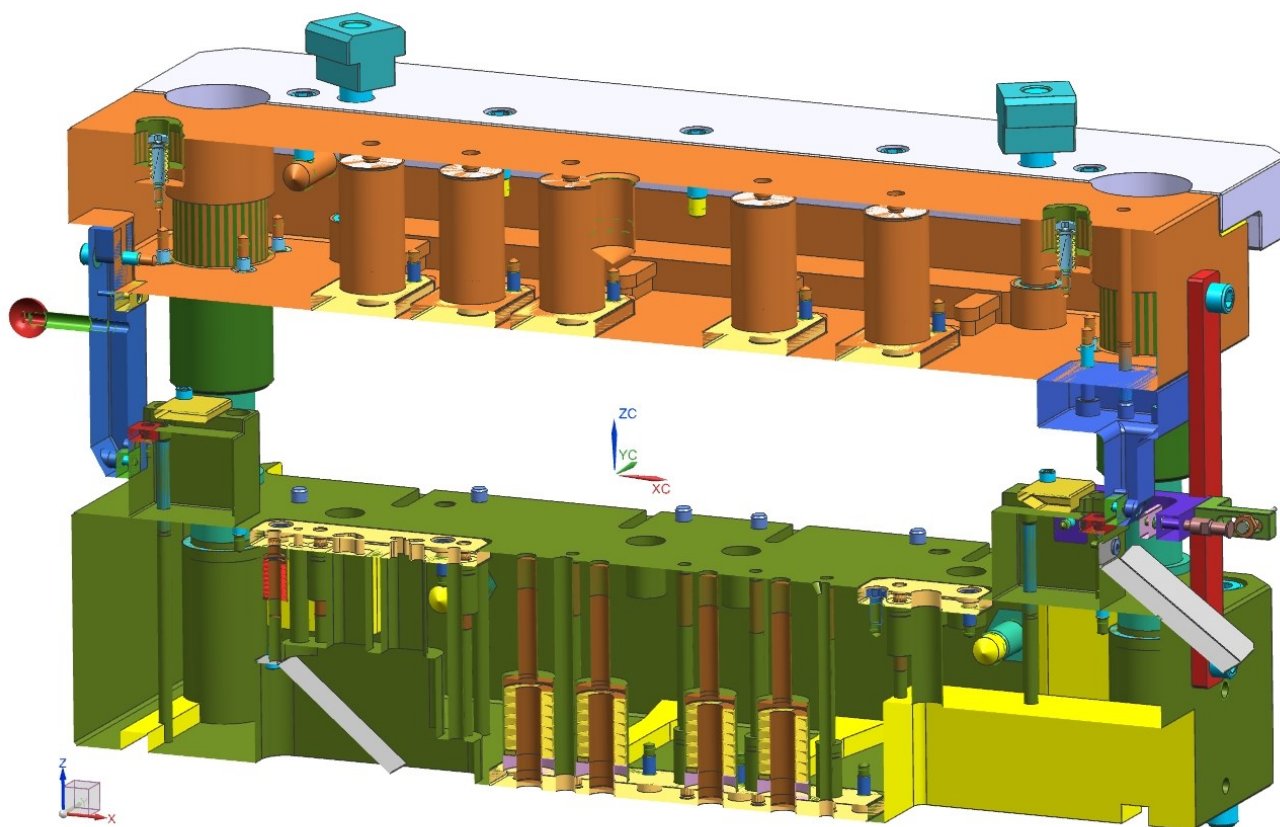


Obr. 60 Model kombinovaný nástroje - Stojánek s jednotkou

6.4.1 Rám nástroje - stojánek

Kombinovaný nástroj a zejména potom jeho rám (příp. stojánek) je nutné navrhnout hodně tuhý, aby snesl časté a opakující se tlakové síly, které u tohoto projektu určitě budou a potvrzuje je také analýza tváření. Tuhost je nutné dosáhnout především v okolí tvářecích oblastí. Mezi další nutné podmínky patří použitelnost nástroje v sériovém procesu lisování a to především na výstředníkových lisech.

Primárně byl nástroj určen na lis LEK 160 tun, ale rám lisu ve tvaru C nedokázal přenést potřebnou tuhost. Proto jsem konstrukci stojáнку upravil, abychom mohli nástroj upnout na lis STA 160, který má 4 sloupky a netrpí tolik na průhyb. Na tomto lise se upíná přes hydraulické upínky, proto jsem zhotovil v základní desce odlehčující kapsy a na horní upínací desku přišrouboval dvě podélné lišty. Obrázek č 61 níže nám zobrazuje samostatný rám (stojánek) nástroje, do kterého se vkládají jednotky s činnými částmi.



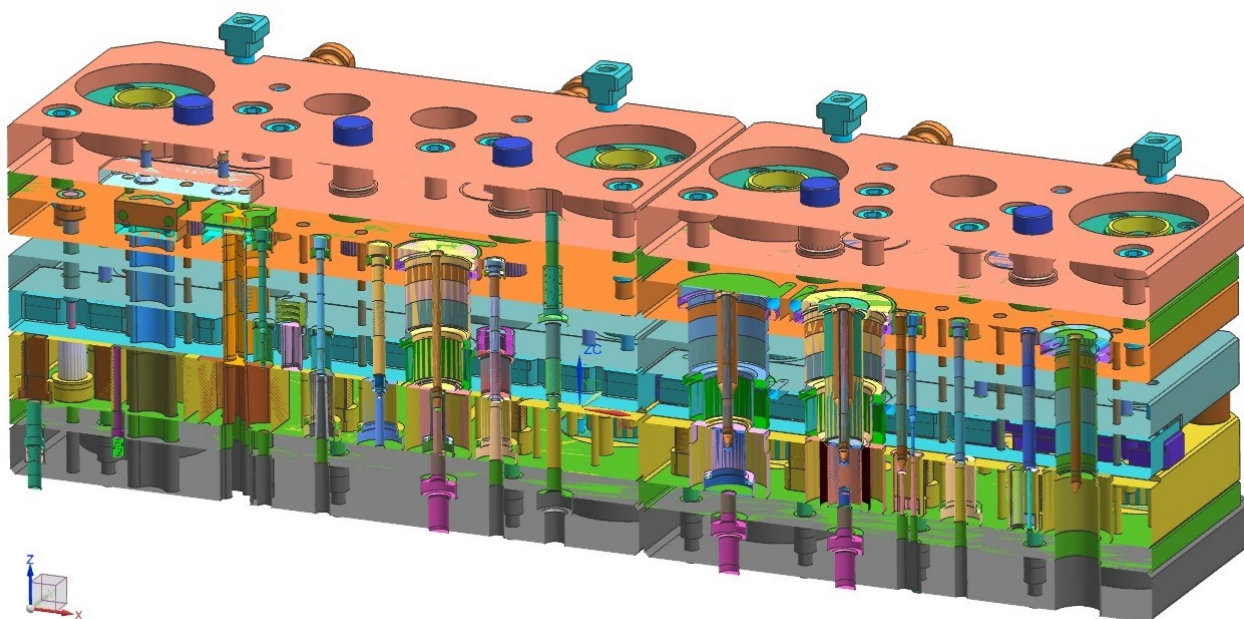
Obr. 61 Model kombinovaný nástroje – Stojánek v řezu

6.4.2 Jednotky pro činné části

Jednotky pro vsazování činných částí jsou záměrně rozděleny na dvě, aby se snížila jejich hmotnost a zajistila lepší manipulovatelnost. Vzhledem k velkému namáhání na tento nástroj jsou skoro všechny desky z velmi kvalitních a houževnatých materiálů, podkladové desky jsou kalené z oceli, aby se tvarové části opíraly o tvrdé díly. Přesnost těchto jednotek zajišťuje čtveřice vodících sloupků s kuličkovým vedením. Jednotky mají přitlačnou desku, která je pod pružinami. Hlavní plynové pružiny jsou umístěny ve velké upínací desce stojánu a se samotnou přitlačnou deskou jsou spojeny přes čepy.

Jednotky se do hlavního stojánu upínají pomocí T-matic, které jsou zobrazeny na obrázku. Ve stojánu jsou zhotoveny drážky pro tyto matice. Spodní část každé jednotky se nahrubo vystředí do kříže pomocí středících kolíků a potom se přišroubuje.

Obrázek č. 62 níže zobrazuje tvářecí jednotky v řezu s podélnou osou nástroje, kde se vyskytují všechny činné části.



Obr. 62 Model kombinovaný nástroje - Dvojice jednotek v řezu

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a zhotovit vhodný technologický postup výroby nerezového výlisku pro sériové lisování na postupovém tvářecím nástroji. Zadaný výlisek jsem napřed vyhodnotil a zaměřil se na složité oblasti, kde jsem popsal možné potíže při realizaci. Na základě těchto informací jsem mohl navrhnout samotný nástřihový plán (tzv. postup lisování) pro sériový nástroj. Následně jsem v této práci souhrnně popsal a vyhodnotil dosažené výsledky z výpočtů pomocí softwaru na analýzy tváření. Obdobným způsobem popisují dosažené výsledky z fyzického zkoušení a testování výlisku na polotovarech v malém nástroji před návrhem sériového nástroje. Tyto analýzy a zkoušení byly základem pro vhodně navrženou konstrukci kombinovaného nástroje, který byl vyroben a odzkoušen. Zhotovení a zkoušení na tomto nástroji provázely další nové poznatky a lehké změny v původním návrhu, které se v předchozích zkouškách neprojevíly. V krátkosti tyto nové poznatky popisují v poslední kapitole této práce.

Na základě popsaných návrhů, výsledků a skutečností je splněn hlavní cíl této diplomové práce v plném rozsahu. Výstupem je jednak dobře navržený postupový nástroj, ale také správně zhotovený výlisek dle výkresu a požadavku zákazníka na navrženém sériovém nástroji, finální výlisek je zobrazen na obrázku č. 63 a 64.



Obr. 63 Výlisek „Vičko“ - Horní tvar



Obr. 64 Výlisek „Vičko“ - Spodní tvar

Samozřejmě, že samotných analýz a testování bylo v tomto projektu zhotoveno podstatně více. Ovšem rozsah takovéto podrobné technické zprávy se všemi obrázky a dostupnými výstupy by několikanásobně překročil doporučený a vhodný počet stránek. Proto jsem se rozhodl pro souhrnné technické zpracování výsledků tohoto vývoje.

Celý projekt nerezového výlisku „Víčko“ se povedlo poměrně dobře odladit a technicky zvládnout. Bohužel zůstávají některé prvky, s kterými jsou zatím stále menší nebo větší technické problémy. Jedná se především o životnost činných dílů, která je neustále velmi nízká. Zejména díky vysokým mechanickým silám při procesu tváření u značně odolného vstupního korozivzdorného materiálu. Většinu dílů se povedlo zhotovit z lepších materiálů a tím docílit zvýšení jejich životnosti. Některé pozice však i z těch nejlepších ocelí, spékaných materiálů nebo dokonce z tvrdokovu, nedosahují požadovaných životností.

Pravděpodobně bylo dosaženo hranice životnosti těchto dílů a velké zlepšení již nebude technicky možné. V souhrnu lze říci, že v tomto nástroji podléhají všechny komponenty zvýšenému opotřebení. Nicméně to je vzhledem k tváření takto náročného vstupního materiálu pochopitelné a je nutné s tím počítat.

Ekonomické hodnocení tohoto vývojového projektu jsem záměrně neuváděl, jelikož se jedná o poměrně citlivé údaje zadavatelské a dodavatelské společnosti. Samozřejmě, že návratnost tohoto projektu při vysoké nákladovosti na náhradní díly je obtížná. Nemůžeme, ale říci, že by se jednalo o čistě prodělečný projekt. Výsledky tohoto projektu nás posunuli o značný kus vpřed a lze je tedy rozpočítat na vrub výzkumu a vývoje, který je budoucností každé moderní firmy.



Obr. 65 Vyrobený kombinovaný nástroj pro sériovou výrobu

Seznam použité literatury

- [1] Bobčík, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983. 213 s.
- [2] Kotouč, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1
- [3] Lenfeld, Petr. *Technologie II*. [online]. TUL Fs: Vystaveno roku 2008.
[cit. 3. 4. 2017]. < http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm >
- [4] Kotouč, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1975. 158 s.
- [5] Kříž, R. a Vávra, P. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia spol. s r.o., 1998. 260 s.
- [6] MM Průmyslové spektrum, *Technologie protahování: článek* [cit. 6. 4. 2017]. Dostupné z WWW: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-protahovani.html> >
- [7] Petruželka, J. a Březina, R. *Úvod do tváření I*. Ostrava: VŠB, 2001. 161 s.
- [8] Benešová S. a Bernášek, V. *Technologie tváření*. ZČU v Plzni, 2014. 90 s.
- [9] INOX, spol. s r.o. - *Nerezový hutní materiál*. [cit. 12. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html> >
- [10] Bohdan Bolzano s.r.o. *Materiálové listy*, [cit. 12. 4. 2017] Dostupné z WWW:
< <http://www.bolzano.cz/cz/t> >
- [11] EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES. [cit. 12. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=201 >
- [12] 1CSC, a. s. *Produkty*. [cit. 18. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< <http://www.1csc.cz/cs/produkty/ocelove-pasky-a-plechy/> >
- [13] Siemens PLM software. [cit. 14. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/ >
- [14] AXIOM TECH s.r.o. [cit. 14. 4. 2017]. Dostupné z WWW: <
<http://www.axiomtech.cz/24790-cad-nx-a-solid-edge> >
- [15] QFX Simulations Ltd. *QForm*. [cit. 18. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< <http://www.qform3d.com/> >
- [16] MFAC. *QForm*. [cit. 18. 4. 2017]. Dostupné z WWW: < <https://mfac.com/qform-2/> >

- [17] ZTS VVÚ KOŠICE, a. s. *Lisy*. [cit. 24. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< <http://www.ztsvvu.eu/?id=80&ni=108> >
- [18] ebu Umformtechnik GmbH. [cit. 24. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< <http://www.ebu-umformtechnik.de/en/punching-machine-STA-monobloc.htm> >
- [19] Unimachines. [cit. 24. 4. 2017]. Dostupné z WWW:
< <http://unimachines.cz/excentrick%C3%BD-lis-zts-kosice-lek-160-1985-608.html> >
- [20] Kotouč, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1
- [21] Hrubý, Jiří. *Výpočetní metody ve tváření*. Ostrava: VŠB, 2000. 174 s. ISBN 80-7078-728-7
- [22] Romanovskij, V. P. Příručka pro lisování za studena. Přeložil Vladyka Josef. Praha SNTL, 1959. 537 s.

Seznam použitých zkratk

A ₈₀	[%]	Tažnost
α	[°]	Úhel úkosu (střižné matrice)
CAD	[-]	Počítačová podpora projektování
CAE	[-]	Počítačová podpora projektování
CAM	[-]	Počítačová podpora analýz a výpočtů
ČOV	[-]	Čistička odpadních vod
D	[mm]	Vnější (velký) průměr
d	[mm]	Vnitřní (malý) průměr
F	[N]	Celková střižná síla
F _S	[N]	Střižná síla
HRc	[-]	Tvrdost podle Rockwella
HV	[-]	Tvrdost podle Vickerse
h	[mm]	Fasetka střižné hrany
hs	[mm]	Hloubka vniknutí střižníku do materiálu
m	[mm]	Střižná mezera
O	[mm]	Střižný obvod
R	[mm]	Zaoblení
Re, Rp	[MPa]	Mez kluzu
Rm	[MPa]	Mez pevnosti
s; t	[mm]	Tloušťka plechu
STEP	[-]	Mezinárodní formát CAD dat
v	[mm]	Střižná vůle

Seznam obrázků

Obr. 1 Průběh jednotlivých fází stříhu [1]	9
Obr. 2 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle [1]	10
Obr. 3 Protahování válcového tvaru [5]	13
Obr. 4 Diagram určující dosaženou výšku při protahování [5]	13
Obr. 5 Model výlisku „Víčko“ horní strana	16
Obr. 6 Model výlisku „Víčko“ spodní strana	16
Obr. 7 Výlisek „Víčko“ v sestavě s obalem baterie	17
Obr. 8 Výstřížek výkresu - řez	18
Obr. 9 Výstřížek výkresu - pohled	18
Obr. 10 Svitky plechu pro lisování - uskladnění [12]	19
Obr. 11 Svitky plechu pro lisování - detail	19
Obr. 12 Ukázka softwaru NX – výstřížek uživatelského prostředí	20
Obr. 13 Ukázka běžného krčku taženého	21
Obr. 14 Ukázka požadovaného krčku tvářeného	21
Obr. 15 Tváření límečku řez v nástřihového plánu	23
Obr. 16 Tváření límečku umístěno v nástřihového plánu	23
Obr. 17 Nástřihový plán pro výlisek „Víčko“	24
Obr. 18 Střížná oblast pro přípravu polotovaru výlisku	26
Obr. 19 Tažná oblast s prvním tvářením v řezu	27
Obr. 20 Oblast tváření límečku v řezu	28
Obr. 21 Oblast vystřížení plnicího otvoru a výlisku	29
Obr. 22 Nástřihový plán s činnými komponenty	29
Obr. 23 Ukázka analýzy výlisku v programu QForm [15]	30
Obr. 24 Skutečný výlisek k porovnání [15]	30
Obr. 25 Tažení - Efektivní napětí	32
Obr. 26 Tažení - Teplota	32
Obr. 27 Tváření - Efektivní napětí	33
Obr. 28 Tváření - Efektivní napětí na nástroj	34
Obr. 29 Tváření - Efektivní napětí na nástroj detail	34
Obr. 30 Tváření límečku - Teplota	35
Obr. 31 Tváření límečku - Efektivní napětí	36
Obr. 32 Tváření límečku - Efektivní napětí na tvářecí vložce	37

Obr. 33 Tváření límečku - Efektivní napětí na tvářecí razník.....	38
Obr. 34 Graf tvářecích sil.....	39
Obr. 35 Malý nástroj - Stojánek s jednotkou v řezu	41
Obr. 36 Jednotka malého nástroje	42
Obr. 37 Zkušební přístřih pro malý nástroj	42
Obr. 38 Založený přístřih v dutině malého nástroje.....	43
Obr. 39 Tažení - Horní zaoblení	44
Obr. 40 Tažení - Vytažený krček	44
Obr. 41 Tažení – Vytažený krček v řezu.....	44
Obr. 42 Tváření krčku - Pohled na horní namáčknutí.....	45
Obr. 43 Tváření krčku - Řez polotovarem	45
Obr. 44 Tváření krčku - Pohled na krček	46
Obr. 45 Tváření límečku - Pohled na horní namáčknutí.....	47
Obr. 46 Tváření límečku – Řez polotovarem.....	47
Obr. 47 Tváření límečku - Pohled na krček	48
Obr. 48 Tváření límečku - Řez tvářecí jednotkou malý nástroj.....	48
Obr. 49 Tažení krčku - problematické	49
Obr. 50 Tváření krčku - problematické.....	49
Obr. 51 Střížený otvor - Efektivní namáhání	50
Obr. 52 Tváření krčku - Problematické zaoblení horní hrany	51
Obr. 53 Střih otvorů po tváření v řezu	51
Obr. 54 Vyštípnutá větší část tvářecí vložky	53
Obr. 55 Vyštípnutá menší část tvářecí vložky	53
Obr. 56 Vyštípnutá spodní část tvářecí vložky	53
Obr. 57 Skládaná tvářecí vložka s vyhazovačem.....	54
Obr. 58 Lis LEK 160 [19]	56
Obr. 59 Lis STA 160/1600 P2 [18].....	56
Obr. 60 Model kombinovaný nástroje - Stojánek s jednotkou.....	57
Obr. 61 Model kombinovaný nástroje – Stojánek v řezu.....	58
Obr. 62 Model kombinovaný nástroje - Dvojice jednotek v řezu.....	59
Obr. 63 Výlisek „Víčko“ - Horní tvar	60
Obr. 64 Výlisek „Víčko“ - Spodní tvar	60
Obr. 65 Vyrobený kombinovaný nástroj pro sériovou výrobu	61
Obrázky bez odkazu na literaturu čerpal autor z vlastních zdrojů.	

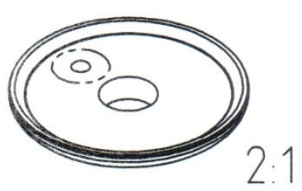
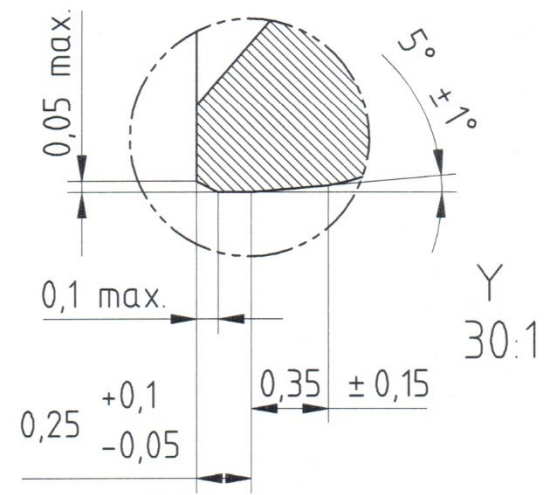
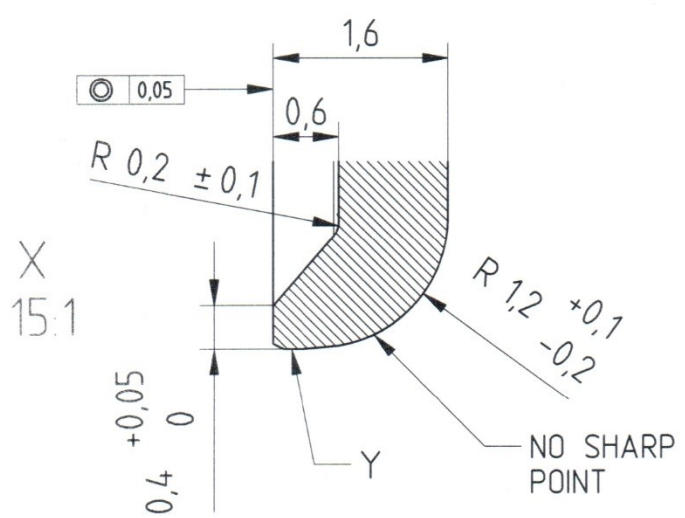
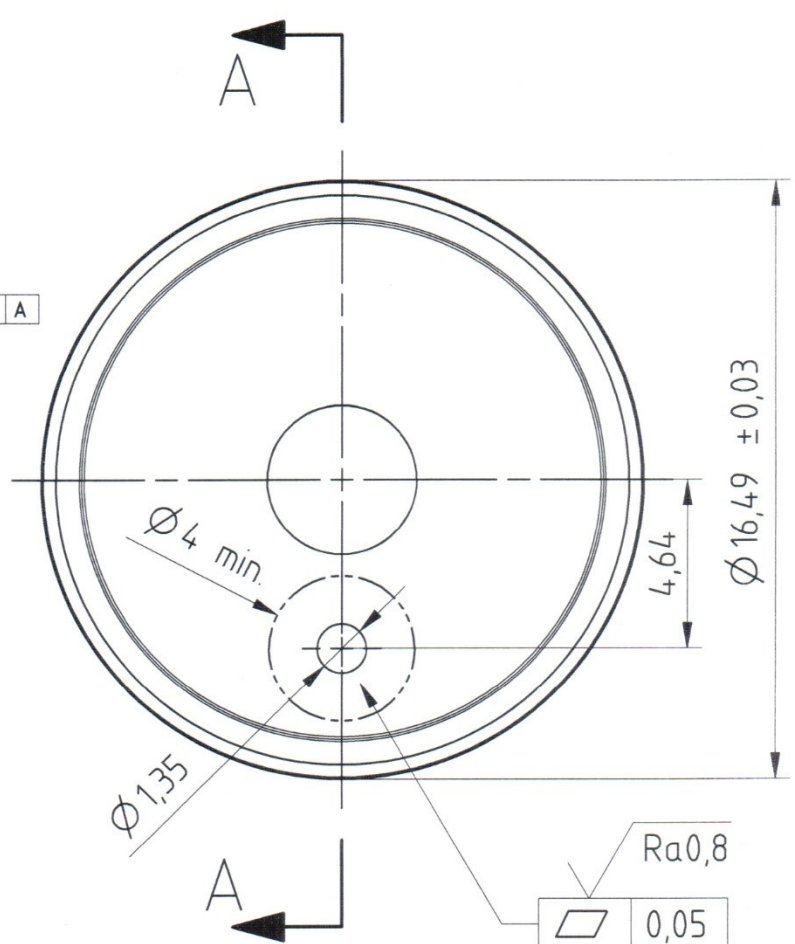
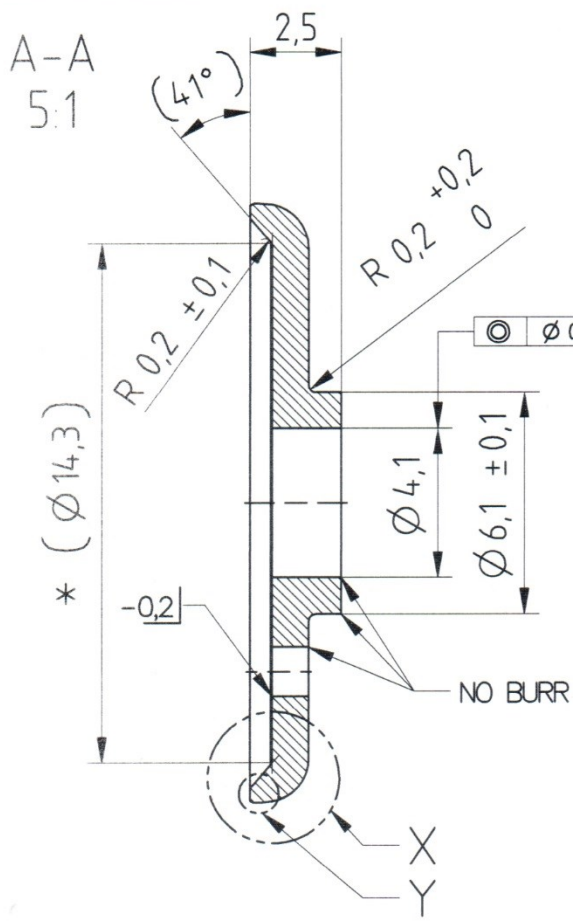
Seznam tabulek

Tab. 1 Tvar použité střížnice a rozsah jejího použití [4].....	12
Tab. 2 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 1.4301 [10].....	19
Tab. 3 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli DC 04 [11]	19
Tab. 4 Základní parametry lisu LEK 160 a STA 160 [17] [18].....	55

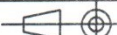



Seznam příloh

Příloha 1 Výkres výlisku „Víčko“

Příloha 2 Výkres nástřihového plánu pro výlisek „Víčko“



* PRŮSEČÍK HRAN

Všeobecné tolerance			Tolerance souřadnic		Měřítko 5:1 (15:1; 30:1; 2:1)		Promítání					
x	± 0.1	 ± 1°	—		Název VÍČKO							
x.X	± 0.05	 ± 0.5°	Datum								Jméno	
x.XX	± 0.01	 ± 0.1°	Zhotovil 22.11.2016								Chládek J.	
x.XXX	± 0.005		Přezkoušel									
VÝLISEK					Materiál: 1.4301 (X5CrNi18-10; DIN EN 10088)							
VŠB-TU OSTRAVA			Index: A		Číslo výkresu PR-01-22		List 1					
							Listů 1					

POHLED C	POHLED D
M 51	M 51